



ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Medidas de adaptação aplicadas no espaço público de Lisboa

José Miguel Chambel Barradas Soares Lopes

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Arquitetura Paisagista

Orientadores: Doutora Maria Cabral Matos Silva Aires Pereira

Doutora Maria Cristina da Fonseca Ataíde Castel-Branco Alarcão Júdice

Júri:

Presidente: Doutora Maria Teresa Gomes Afonso do Paço, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

Doutor João Rafael Marques Santos, Professor auxiliar da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa;

Doutora Maria Cabral Matos Silva Aires Pereira, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Este documento deverá ser citado como:

Barradas, J. (2019): *Alterações Climáticas e Gestão de Águas Pluviais. Medidas de Adaptação Aplicadas no Espaço Público de Lisboa*. Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Portugal.

Agradecimentos

A elaboração deste projeto lança-me para um novo capítulo da minha vida. De uma forma geral, agradeço a todos os que contribuíram para a sua realização.

Estou especialmente grato às minhas orientadores, Professora Doutora e Arquiteta Paisagista Maria Matos Silva e Professora Doutora e Arquiteta Paisagista Cristina Castel-Branco, pelos conhecimentos transmitidos, e pela atenção, disponibilidade e empenho durante o decorrer deste trabalho. Um especial obrigado à Arquiteta Paisagista Helena Barros Gomes, da Câmara Municipal de Lisboa, por facilitar bases informáticas de trabalho.

Por fim agradeço aos meus pais, irmã e amigos chegados que me apoiaram incondicionalmente durante este percurso.

Resumo

As alterações climáticas são atualmente um dos principais desafios para a civilização mundial. As cidades, principalmente as costeiras, são as zonas do globo onde os efeitos destas alterações atingem uma maior escala, devido às características biofísicas que caracterizam o espaço urbano e às mudanças nos regimes hídricos. O número de inundações urbanas derivadas de eventos de precipitação extrema tornou-se mais frequente e continuarão a seguir esta tendência. Paralelamente, as zonas urbanas continuam a expandir, acolhendo cada vez mais habitantes, sem apresentar sinais de abrandamento, culminando numa vulnerabilidade acrescida, não só pela crescente concentração populacional, como também pela falta de resiliência aos impactes de extremos climáticos. No seguimento do recente esforço a nível global dirigido à adaptação das cidades face aos efeitos das alterações climáticas, o presente trabalho de fim de curso, assente no desenvolvimento de pequenos projetos de desenho de espaço público, apresenta a aplicação de um conjunto de soluções de gestão sustentável de águas pluviais em tipologias de espaço público da cidade de Lisboa. Estas estratégias são baseadas nos sistemas naturais onde prevalecem os processos de retenção, fitorremediação, infiltração e armazenamento da água da chuva, face ao seu escoamento por via dos meios convencionais. O caso de estudo corresponde ao cruzamento entre as avenidas Almirante Gago Coutinho e Estados Unidos da América, na cidade de Lisboa. Neste local são registadas múltiplas inundações todos os anos, pelo que a área de intervenção se desenvolve segundo as duas avenidas. A metodologia usada na aplicação destas soluções promove a gestão das águas pluviais antes destas entrarem no sistema de drenagem convencional e assim aliviar a sobrecarga dos coletores, contribuindo para a diminuição da vulnerabilidade a inundações. Estas medidas são aplicadas em tipologias de espaço público, nomeadamente, alinhamentos de passeio, situações de cruzamento com espaço público disponível e espaços verdes, neste caso logradouros. Com este projeto pretende-se aumentar a resiliência aos efeitos das alterações climáticas, principalmente às inundações urbanas, através do desenho de soluções de drenagem sustentável inseridas em tipologias de espaço público, facilitando a sua replicação no futuro para outras partes da cidade.

\\ PALAVRAS-CHAVE

Espaço Público

Alterações Climáticas

Resiliência Urbana

Gestão de águas pluviais

Infraestrutura verde

Soluções baseadas na Natureza

Abstract

Climate change is one of today's civilization's main challenges. Due to the biophysical characteristics that define urban spaces and the changes regarding storm behaviours, cities around the globe, especially those located in coastal areas, are most vulnerable to climate change effects. While urban floods are becoming more frequent each year, cities are growing at a fast pace, housing more than half of the world population. There seems to be no end for both of those trends and, increasing vulnerability not only due to the growing world population, but also to the lack of resilience to climate hazards. Following the new efforts of climate change adaptation, this project gathers a set of sustainable stormwater solutions and applies them to different typologies of public spaces in the city of Lisbon. These are nature-based solutions, where the processes of retention, phytoremediation, infiltration and storage are given priority instead of rapidly draining the stormwater through conventional drainage pipes. The case study takes place on the crossing between the avenues *Almirante Gago Coutinho* and *Estados Unidos da América*, in the city of Lisbon. Several floods are registered in this crossing, whereby the proposal develops itself throughout both avenues. The methodology used in order to apply these solutions to each situation follows the one that NYC Department of Environmental Protection created to size rain gardens, adapted to Lisbon's climate. These measures are applied throughout public spaces typologies, such as sidewalks, crossings' public space borders and green areas, in this case public courtyards. In conclusion, this project intends to increase urban resiliency towards urban floods, through thoughtful designing sustainable stormwater solutions inserted in public space typologies, making it easier to replicate them in the future to other areas around the city.

\\ KEYWORDS

Public space

Climate Change

Urban resilience

Stormwater management

Green infrastructure

Nature based solutions

Índice

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS	ix
GLOSSÁRIO DE TERMOS	x
SIGLAS E ACRÓNIMOS	xiii
INTRODUÇÃO	1
Objetivos e metodologia	2
Estrutura e conteúdos	4
CAPÍTULO I – Breve introdução às Alterações climáticas	6
1.1 O clima: o que é e a sua evolução ao longo do tempo	7
1.2 Causas, impactes e projeções	7
1.2.1 Precipitação extrema	10
1.2.2 Alterações no microclima urbano	11
CAPÍTULO II – A cidade e a sua relação com as águas pluviais	14
2.1 Evolução histórica do sistema urbano de drenagem pluvial	15
2.2 Risco e vulnerabilidade das cidades às alterações do clima	16
2.3 Inundações em espaço urbano	17
2.4 Adaptação das cidades às alterações climáticas	19
2.4.1 O papel do espaço público na adaptação às alterações climáticas	21
CAPÍTULO III – Gestão sustentável de águas pluviais no combate à vulnerabilidade a inundações urbanas	25
3.1 Categorias e tipos de medidas de adaptação a inundações aplicáveis ao espaço público da cidade de Lisboa	29
3.1.1 Fitorremediação	30
3.2 Obras e projetos de referência	31
3.2.1 Houtan Park, Shanghai	32
3.2.2 Enghaveparken Now, Copenhaga	33

3.2.3	UMass Design Building, Massachusetts	33
3.2.4	Praça de Espanha, Lisboa	35
3.2.5	Chand Baori, Jaipur	36
CAPÍTULO IV		
	Caso de estudo: avenidas Gago Coutinho e Estados Unidos da América, Lisboa	37
4.1	Caracterização da envolvente	40
4.1.1	Enquadramento geográfico e geomorfológico	40
4.1.2	Enquadramento do sistema de drenagem	41
4.1.3	Enquadramento climático	42
4.2	Diagnóstico geral da área de estudo	43
4.2.1	Sistema de drenagem atual e histórico de inundações.....	43
4.2.2	Análise crítica de problemas e potencialidades.....	45
CAPÍTULO V		
	Projetos de gestão de águas pluviais em diferentes tipologias de espaço público de Lisboa	47
5.1	Objetivos e Metodologia	48
5.2	Vegetação proposta.....	49
5.3	Tipologias	51
5.4	Discussão dos resultados.....	67
5.5	Peças desenhadas	68
CONCLUSÕES		77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		79
ANEXOS		85

Índice de figuras

Figura ii.1	Comparação entre sistemas de drenagem unitário e separativo	15
Figura ii.2	Efeitos da urbanização sobre o ciclo da água	19
Figura iii.1	Diagrama representativo da evolução da gestão das águas pluviais urbanas	26
Figura iii.2	<i>Houtant Park</i> – Shanghai, China.....	31
Figura iii.3	<i>Enghaveparken Now</i> – Copenhaga, Dinamarca.....	32
Figura iii.4	Jardim de chuva em redor do <i>Design Building</i> da UMass – Massachusetts, EUA.....	33
Figura iii.5	Esboço do escoamento superficial na cobertura do <i>Design Building</i> da UMass.....	34
Figura iii.6	Jardim da nova Praça de Espanha – Lisboa, Portugal	35
Figura iii.7	<i>Chand Bori</i> – Bandikui, Índia	36
Figura iv.1	Destaque da área onde se insere o caso de estudo	40
Figura iv.2	Sobreposição das bacias hidrográfica de drenagem na Cidade de Lisboa.....	41
Figura iv.3	Fotografia do local em estudo durante um episódio de inundação, após um evento torrencial, no dia 11 de novembro, de 2018	44
Figura iv.4	Drenagem do escoamento das coberturas efetuada para a via pública	46
Figura iv.5	Estado da degradação da via pública provocada pelo escoamento desorganizado, em parte proveniente das coberturas	46
Figura iv.6	Sargetas e sumidouros na avenida Gago Coutinho carentes de manutenção.....	46
Figura v.1	<i>Populus nigra italica</i>	49
Figura v.2	<i>Fraxinus angustifolia</i>	49
Figura v.3	<i>Pistacia lentiscus</i>	50
Figura v.4	<i>Nerium oleander</i>	50
Figura v.5	<i>Cyperus alternifolius</i>	50
Figura v.6	<i>Phragmites australis</i>	50
Figura v.7	<i>Typha latifolia</i>	50
Figura v.8	<i>Juncus</i> spp.	51
Figura v.9	<i>Iris pseudacorus</i>	51
Figura v.10	<i>Scrophularia canina</i>	51
Figura v.11	área de intervenção e localização das tipologias	52
Figura v.12	Plano Geral da tipologia de caldeira de bioretenção	54
Figura v.13	Perspetiva da tipologia de caldeira de bioretenção.....	55
Figura v.14	área impermeável para a tipologia de caldeira e organização dos grupos A e B	56
Figura v.15	Plano Geral da tipologia de jardim de chuva	58
Figura v.16	área impermeável para a tipologia de jardim de chuva.....	59
Figura v.17	Lancil tipo <i>Kerb Drain</i> da Aco	60

Figura v.18	Plano Geral da tipologia de microbacia de retenção	66
Figura v.19	Área impermeável para a tipologia da microbacia de infiltração	62
Figura v.20	Plano de plantação para a tipologia de caldeira de biorretenção	69
Figura v.21	Plano de plantação de árvores e arbustos para a tipologia de jardim de chuva.....	70
Figura v.22	Plano de plantação de herbáceas para a tipologia de jardim de chuva	71
Figura v.23	Ilustração de perspectiva para a tipologia de jardim de chuva	72
Figura v.24	Plano de plantação de árvores e arbustos para a tipologia de microbacia.....	73
Figura v.25	Plano de plantação de herbáceas para a tipologia de microbacia	73
Figura v.26	Ilustração de perspectiva para a tipologia de microbacia	74
Figura v.27	Plano de drenagem e plano de adução da cisterna	75
Figura v.28	Pormenorização esquemática de construção da cisterna	76

Índice de gráficos

Gráfico ii.1	Percentagem de água escoada à superfície relacionando três bacias hidrográficas de características distintas: florestal, sub-urbana e urbana.....	18
Gráfico ii.2	Picos do caudal de escoamento relacionando três bacias hidrográficas de características distintas: florestal, sub-urbana e urbana	18
Gráfico ii.3	Volumes de bacias urbanas de diferentes regiões climáticas para armazenar as mesmas quantidades de águas pluviais por ano	23
Gráfico iv.1	Volume médio mensal de precipitação para a região de Lisboa	42

Índice de tabelas e quadros

Tabela i.1	Resumo dos impactes das alterações climáticas nas cidades	11
Tabela ii.1	Potenciais estratégias aplicáveis a diferentes usos do solo, apresentados pelo <i>Green Infrastructure Plan</i> , em Nova Iorque, nos EUA.....	23
Tabela iii.1	Categorias e tipos de medidas de adaptação a inundações urbanas em espaço público	30
Tabela iv.1	Resumo das principais projeções climáticas para a cidade de Lisboa, até ao final do século.....	43
Tabela v.1	Cálculos para os volumes das diferentes caixas de infiltração para a solução na tipologia de passeio na avenida Gago Coutinho	56
Tabela v.2	Cálculos para os volumes das diferentes caixas de infiltração para a solução na tipologia de cruzamento entre as avenidas Gago Coutinho e D. Rodrigo da Cunha.....	59
Tabela v.3	Cálculos para os volumes das diferentes caixas de infiltração para a solução na tipologia de microbacia de infiltração na avenida EUA	64
Tabela v.4	Volume máximo de retenção do conjunto das quatro tipologias utilizadas neste projeto.....	67

Glossário de termos

Adaptação | O processo de ajustamento ao clima, atual ou previsto, e aos seus efeitos nos sistemas socioeconómicos e naturais (Matos Silva, 2016).

Alterações climáticas | Refere-se às mudanças no padrão climático global, que podem ser identificadas por alterações no valor médio e/ou pela variabilidade dos seus comportamentos, que persiste por um período de anos prolongado (IPCC, 2013a).

Antropogénico | Resultante de ou provocado por atividades humanas (Santos, 2006).

Atmosfera | A camada gasosa que envolve a terra. A sua composição é constituída maioritariamente por nitrogénio (ou azoto; 78,1%) e oxigénio (20,9%), mas também por gases de efeito de estufa, como o dióxido de carbono e o ozono, entre outros (IPCC, 2013a).

Bio-retenção | É uma prática que utiliza solos e vegetação lenhosa e herbácea para remover poluentes das águas pluviais que escorrem à superfície (ETA, 1999).

Camada de Ozono | Camada da estratosfera onde a concentração de ozono é maior. A sua presença é essencial para a existência de vida na Terra, contudo, as atividades humanas têm-na destruído parcialmente (IPCC, 2013a).

Captção | A área de escoamento superficial que converge para um ponto num sistema de drenagem ou para um linha de água. Uma bacia de captação pode ser constituída por múltiplas hemi-bacias (Matos Silva, 2016).

Cenário climático | Uma representação plausível e, usualmente simplificada do clima futuro, baseado num conjunto de relações climatológicas, usados como modelos de impactes na investigação de potenciais consequências das alterações climáticas antropogénicas. Frequentemente contruídos a partir da informação de projeções climáticas cruzando com o clima atual (IPCC, 2013a).

Cheia | Evento hidrológico extremo, natural ou induzido pela ação humana, que se traduz no transbordo de uma linha de água em relação ao seu leito original, dando origem a inundações no leito de cheia (Crisóstomo, 2015).

Ciclo hidrológico | O ciclo onde a água evapora dos oceanos e da superfície terrestre, é mobilizada em torno da Terra através da circulação atmosférica, em forma de vapor de água, condensa e forma nuvens, precipita em forma de chuva ou neve em terra ou oceanos. Em terra, a chuva é intercetada por vegetação, origina escoamento superficial, infiltra nos solos, recarrega aquíferos, desagua em cursos de água e, finalmente termina nos oceanos, onde o processo se repetirá (IPCC, 2013a).

Clima | É a descrição estatística em termos da média e da variabilidade de quantidades relevantes, como temperatura do ar, precipitação e vento, por um período que varia desde meses a milhares de milhões de anos. Por norma, o período usado para calcular as médias climáticas é de 30 anos (IPCC, 2013a).

Controlo na origem | O controlo de escoamento pluvial à superfície na (ou perto da) origem desse escoamento (Fletcher et al. 2015).

Efeito de estufa | Este efeito é provocado por gases de efeito de estufa e consiste na absorção parcial da radiação infravermelha, emitida pela superfície da Terra, por parte desses gases, que posteriormente reemitem essa mesma radiação. Uma fração desta é emitida em direção à superfície terrestre, resultando num reaproveitamento energético sob a forma de calor. Este processo ocorre naturalmente e é um dos fatores responsáveis pela temperatura do ar ser propícia à existência de vida, contudo, a emissão excessiva destes gases, por parte das atividades antrópicas, provoca um agravamento deste efeito, dando origem ao aquecimento global (IPCC, 2013a).

Escoamento superficial | A parte da água pluvial que escorre à superfície e retorna a massas de água (IPCC, 2013a).

First flush | (Caudal torrencial; traduzido pelo autor) o escoamento de superfície inicial de um evento de precipitação torrencial. Esta fase dá origem a um caudal mais concentrado em poluentes suspensos e dissolvidos, que irá entrar no sistema de drenagem e, na falta de tratamento, nas massas de água superficiais (Matos Silva, 2016).

Flash flood | Inundação súbita que causa danos materiais não necessariamente pela sua dimensão mas principalmente pela velocidade com que surge.

Fito-depuração | É uma técnica ecológica de tratamento que replica os processos naturais de purificação num ambiente controlado (Matos Silva, 2016).

Gases com efeito de estufa | São os gases constituintes da atmosfera (naturais ou antrópicos) responsáveis pelo efeito de estufa, como a água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o ozono (O_3), entre outros, sendo estes dos principais (IPCC, 2013a).

Impacte climático | O efeito das alterações climáticas nos sistemas naturais e humano (Matos Silva, 2016).

Inundações urbanas | São episódios derivados do combinado de eventos de precipitação extrema com a incapacidade do sistema urbano de drenagem para escoar o caudal resultante. Desta forma, tem-se um escoamento desorganizado de grande proporções a escoar superficialmente para cotas inferiores (Oliveira, 2013a).

Mitigação | As ações humanas que revelam a sua intenção de reduzir a origem ou reforçar a redução da emissão de gases de efeito de estufa (Matos Silva, 2016).

Modelo climático | Uma representação numérica do sistema climático, baseado nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos seus componentes, das suas interações e processos de feedback, e contabilidade das suas propriedades conhecidas (IPCC, 2013a).

Nível médio do mar | Nível da superfície do oceano num determinado ponto, em média, durante um período de tempo prolongado, como um mês ou um ano (Oliveira, 2013a).

Previsão do clima | Ou previsão climática, é o resultado de uma tentativa de construir (a partir de um determinado estado do sistema climático) uma estimativa da evolução real do clima no futuro. Estas previsões são geralmente de natureza probabilística, devido a sensibilidade do sistema climático.

Projeção climática | Uma resposta simulada do sistema climático a um cenário futuro de emissões e concentrações de gases de efeito de estufa e aerossóis, normalmente construídos a partir de modelos climáticos (IPCC 2013aa).

Representative Concentration Pathways (RCP) |

Cenários que incluem séries temporais de diferentes emissões e concentrações do conjunto completo de gases de efeito de estufa, aerossóis e gases quimicamente ativos, assim como o uso e/ou cobertura do solo (IPCC, 2013a).

Resiliência | A capacidade dos sistemas sociais, económicos e ambientais de resistir a eventos, tendências ou perturbações adversas, respondendo e reorganizando, de forma a manter a sua função, identidade e estrutura essencial (Matos Silva, 2016).

Sistema de drenagem combinado | Sistemas de drenagem que transportam as águas residuais e as águas pluviais num único coletor.

Sistema de drenagem separativo | Sistemas de drenagem que transportam as águas residuais e as águas pluviais em coletores separados.

Sustainable urban drainage systems (SUDS) | Ou *sustainable drainage systems* (SuDS) “*consistem num leque de tecnologias e técnicas usadas na drenagem de escoamento pluvial à superfície. (...) São baseados na filosofia de replicar ao máximo o processo de drenagem natural (pré-urbanização)*” (Fletcher *et al.*, 2015, p. 529)

Siglas e acrónimos

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BMPs	<i>Best Management Practices</i> (Práticas de Gestão Melhorada)
CML	Câmara Municipal de Lisboa
COP	Conference of the Parties from the UNFCCC (Conferência dos grupos da UNFCCC)
EEA	<i>European Environmental Agency</i> (Agência Europeia do Ambiente)
ENAA	Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de efeito de estufa
IGP	Instituto Geográfico Português
IM	Instituto de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas)
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
LID	<i>Low Impact Development</i> (desenvolvimento de impacto reduzido)
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
NACTO	<i>National Association of City Transportation Officials</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (Administração Oceânica e Atmosférica Nacional)
NYC	<i>New York City</i> (Cidade de Nova York)
ONU	Organização das Nações Unidas
PGDL	Plano Geral de Drenagem de Lisboa
<i>ppm</i>	Parte por milhão
<i>ppmv</i>	Parte por milhão em volume
RCPs	<i>Representative Concentration Pathways</i>
RSB	Regimento de Sapadores Bombeiros
SIAM	Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação
SUDS	<i>Sustainable urban drainage systems</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (Estrutura Convencional das Nações Unidas nas Alterações Climáticas)
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WSUD	Water Sensitive Urban Design (desenho urbano sensível à água)

INTRODUÇÃO

A atividade humana das últimas décadas até aos dias de hoje é responsável por desequilibrar a composição da atmosfera, resultando no aumento das temperaturas a nível global, que consequentemente irá alterar o clima do planeta. O Painel Internacional nas Alterações Climáticas (IPCC, 2013) prevê, como consequência, uma intensificação do regime hídrico para a maioria do território terrestre, o que para Portugal e as restantes regiões de clima mediterrânico, resume-se a curtos mas intensos períodos de precipitação e extensos períodos de seca.

Já nos dias de hoje se verificam inúmeras ocorrências de inundações e cheias por todo o mundo, provocadas por episódios extremos de precipitação. Estes eventos tendem a agravar-se em meio urbano, não só devido à acrescida vulnerabilidade derivada da densidade populacional e do elevado investimento nos sistemas urbanos, mas também devido à impermeabilização da superfície do solo das cidades, que não permite a infiltração das águas da chuva e aumenta a velocidade do escoamento superficial. Também o facto da drenagem das águas pluviais urbanas ser efetuada através de sistemas de saneamento subterrâneo dificulta o escoamento dos caudais resultantes de eventos de precipitação extrema. Em caso de sobrecarga do sistema de drenagem, as zonas baixas e/ou planas da cidade tendem a acumular as águas de montante (Oliveira, 2013).

OBJETIVOS E METODOLOGIA

O cruzamento entre a avenida Almirante Gago Coutinho e a avenida Estados Unidos da América, dois eixos de grande importância para o sistema rodoviário, apresenta o nível máximo de vulnerabilidade a inundações, segundo a “Carta de Riscos Naturais e Antrópicos I” elaborada pela Câmara Municipal de Lisboa. Esta carta foi elaborada com base em “*informação referente a valores de precipitação extrema fornecidos pelo Instituto de Meteorologia [IM, (atualmente Instituto do Mar e da Atmosfera IPMA)] e na análise de eventos históricos de pedidos de socorro por inundação ao Regimento de Sapadores Bombeiros, áreas prioritárias de intervenção da Brigada de Coletores e notícias diárias publicadas pela imprensa*” (CML, 2008). Aprofundando esta informação, foi possível recolher dados aos Sapadores Bombeiros de Lisboa que indicam que nesta zona ocorrem, em média, (aproximadamente) duas ocorrências por ano no local em estudo.

Neste projeto foram estudadas as principais razões que têm provocado inundações de modo a adaptar a área afetada pelas inundações através de um conjunto de soluções organizadas segundo tipologias. Para guiar o desenho das soluções optou-se por ter como base as regras gerais da CML enumeradas no Manual do Espaço Público referentes ao desenho da Rua. Este documento serviu para conhecer as regras e limitações no desenho do espaço público de modo a propor soluções complementares com o construído atualmente.

Deste modo, o presente projeto tem como intenção atingir os seguintes objetivos:

- × Contribuir para uma gestão sustentável de águas pluviais através de medidas de adaptação às alterações climáticas;
- × Aplicação destas medidas em tipologias de espaço público na cidade de Lisboa.

A elaboração deste trabalho seguiu uma estratégia de trabalho conhecida como “*research by design*” (pesquisa através do desenho) onde se incentiva que a investigação teórica surja com o desenvolvimento do trabalho prático. Para alcançar este objetivos, a metodologia deste trabalho engloba: a revisão bibliográfica, a revisão de casos de referência e a aplicação de medidas em tipologias de espaço público na cidade de Lisboa; descritos de seguida.

Revisão bibliográfica

Atualmente já existe muito trabalho desenvolvido no sentido de adaptar as cidades aos efeitos das Alterações Climáticas, com destaque às inundações e cheias urbanas. No entanto, os estudos têm-se concentrado na subida do nível do mar como principal causa destes efeitos, o que foca os esforços para as zonas ribeirinhas e costeiras, onde a influência da subida do mar tem maior impacto. Porém, as mudanças no regime hídrico também contribuem para a ocorrência de inundações urbanas, não necessariamente nas regiões baixas das cidades. Por outro lado, esta área de investigação não se encontra muito desenvolvida no que toca à elaboração de soluções práticas, pelo que dificulta o processo de implementação dessas soluções no espaço urbano.

Em Portugal, mais especificamente em Lisboa, já existem alguns projetos que pretendem diminuir a vulnerabilidade a inundações e cheias urbanas movidas pelas Alterações Climáticas, no entanto, é notável um esforço centrado nas zonas ribeirinhas quando em comparação com o resto da cidade.

A professora Maria Matos Silva, na sua tese de doutoramento¹ (2016), organizou um conjunto de soluções aplicadas ao espaço público da cidade de Lisboa, onde é valorizada a importância dos ecossistemas e do ciclo natural da água no interior do espaço urbano. Este conjunto agrupa soluções que permitem que as águas de inundação sejam: desviadas, infiltradas, recolhidas, armazenadas, evitadas ou toleradas. Segundo a autora, o principal objetivo do seu trabalho “(...) é desenvolver uma matriz conceptual de medidas de adaptação a inundações aplicável no desenho dos espaços públicos. Um quadro que forneça uma ampla gama de soluções conceptuais, sistematizadas, com vista a promover e facilitar as etapas iniciais de um projeto de espaço público com capacidades de adaptação a inundações.” (Matos Silva, 2016, p. 7). É através deste conjunto de soluções que a fase de projeto do presente trabalho terá início, selecionando as que são mais pertinentes mediante as características da área em estudo.

A *NYC Environmental Protection* (Proteção Ambiental da cidade de Nova Iorque, traduzido pelo autor) concebeu uma metodologia simplificada que permite calcular as dimensões que um *rain garden* (jardim de chuva) tem de ter para conseguir receber e infiltrar as águas pluviais provenientes de uma determinada área impermeável. Esta metodologia baseia-se na construção de “caixas” cheias de inertes ou outros materiais porosos e os cálculos permitem saber a área de jardim e as profundidades necessárias a escavar no solo, tendo em conta diferentes materiais com diferentes porosidades. É através desta metodologia que foram efetuados os cálculos, posteriormente apresentados no capítulo V – “Projetos de gestão de água pluvial em diferentes tipologias de espaço público de Lisboa”.

A Câmara Municipal de Lisboa elaborou um Manual do Espaço Público (CML, 2018) onde estão reunidas algumas recomendações a considerar, por parte do município, para projetar e intervir no espaço público na cidade de Lisboa. Este manual serve como uma ferramenta de auxílio para um melhor enquadramento destas soluções no espaço público envolvente.

Por fim, para a elaboração deste projeto, consultou-se ainda a Especificação Técnica da Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais, onde estão enumerados os critérios técnicos para a construção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para usos que não o consumo humano.

Revisão de casos de referência

Para melhor integrar os vários temas abordados nos próximos capítulos, procedeu-se a uma revisão de casos de referência, pelo que mais à frente serão expostos os projetos e obras internacionais que se destacam. Esta revisão serviu como fonte de informação e inspiração para a fase de projeto. Os casos que foram estudados foram o Houtan Park, em Xangai, na China; o Enghaveparken, em Copenhaga, na Dinamarca; o Edifício de Design da Universidade de Massachusetts, nos Estados Unidos da América; o projeto para a Praça de Espanha, em Lisboa; e por fim, o reservatório Chand Baori, em Jaipur, na Índia.

¹ Matos Silva, Maria. 2016. «Public Space Design for Flooding: Facing the Challenges Presented by Climate Change Adaptation» Doctoral thesis. Barcelona: Universitat de Barcelona. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/106707>.

Projetos de gestão de água pluvial em diferentes tipologias de espaço público de Lisboa

Como referido na revisão bibliográfica, o projeto deste trabalho tem início onde a tese de doutoramento da Professora Maria Matos Silva terminou, selecionando e projetando as soluções que mais se adequam à área em estudo, na cidade de Lisboa. Consoante as características de cada situação (sejam passeios pedonais, espaços verdes, ou logradouros), será adotada a solução que se apresente mais adequada e eficiente a recolher as águas pluviais.

Tendo-se respeitado as recomendações do Manual do Espaço Público, o atual trabalho pretende apresentar, de uma forma prática e detalhada a nível projetual, um conjunto de tipologias adequadas para replicar noutras partes da cidade de Lisboa. Cada tipologia é acompanhada por desenhos pormenorizados de modo a facilitar o processo de implementação deste tipo de soluções.

ESTRUTURA E CONTEÚDOS

O presente projeto desenvolve-se ao longo de cinco capítulos, os três primeiros de teor teórico que pretendem descrever e analisar o estado do conhecimento das temáticas em estudo, em particular aquelas que contribuem para o alcance dos objetivos propostos; o quarto onde é descrito e enquadrado o caso de estudo; e o quinto onde se desenrola a elaboração do projeto. Nos capítulos teóricos são abordados e sintetizados diversos assuntos de modo a cumprir com os objetivos aqui estabelecidos.

O primeiro capítulo visa expor a informação recolhida no âmbito das alterações climáticas que se achou fundamental para se conhecerem as suas causas e os impactes no futuro, principalmente no regime hídrico. Para tal são apresentadas as diferentes projeções climáticas até 2100 segundo diferentes cenários previstos pela comunidade científica.

No segundo capítulo é elaborada uma revisão bibliográfica que apresenta a crescente vulnerabilidade do espaço urbano a eventos climáticos extremos, maioritariamente devida à densidade populacional, uma vez que mais de metade da população vive atualmente em cidades. Posteriormente segue-se uma descrição sintetizada da evolução dos sistemas de drenagem urbana das águas pluviais. Paralelamente é feita a comparação entre a tecnologia de drenagem atual com o aumento da frequência de inundações em espaço urbano devido sobretudo a eventos de tempestade, que se preveem ser cada vez mais frequentes. Por fim é abordada a questão da adaptação das cidades às alterações climáticas, referindo o exemplo conceptual de cidade-esponja e elaborando sobre a nova visão do espaço público e dos seus potenciais de adaptação às alterações climáticas. Aqui é feita uma revisão sobre o Manual do Espaço Público da cidade de Lisboa.

O terceiro capítulo aborda um conjunto de conceitos que derivam da temática da Gestão Sustentável de Águas Pluviais, que contribuem para o conhecimento nesta área e influenciaram o modo como o projeto foi elaborado. O capítulo termina com uma revisão de casos de referência internacional, de onde se retirou inspiração para a elaboração do projeto.

O quarto capítulo corresponde à fase de diagnóstico que dá abertura ao projeto no capítulo seguinte. Em primeiro lugar, são enumeradas as razões que levaram à delimitação da área de estudo, passando para uma caracterização da área respetiva, terminando numa análise onde são apontados os problemas e as potencialidades.

O quinto capítulo consiste na elaboração do projeto em si. Aqui é elaborado o raciocínio que conduziu ao desenho de cada tipologia, acompanhado pelos cálculos efetuados para cada solução: o dimensionamento das caixas de inertes, para a retenção das águas da chuva, e o dimensionamento da cisterna.

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As alterações climáticas são indiscutivelmente um dos temas de maior seriedade da atualidade, e com fundamento para tal. As alterações climáticas já não são apenas uma ameaça para o futuro ou apenas uma curiosidade científica, mas sim uma preocupação do presente (Rockström 2017; Crisóstomo 2015). Para um planeamento e gestão do território e das atividades socioeconómicas, é fundamental conhecer o clima da região e como este se vai comportar no futuro (IPMA, 2018), visto vários sistemas naturais e sociais dependerem da forma como o clima se manifesta, e as alterações que se antevêm vão ter impactos maioritariamente negativos, sobre esses sistemas (Santos, 2006). Esta matéria tem sido alvo de longos estudos, onde se registaram as evoluções das temperaturas dos oceanos, do ar, da terra, e todos apresentam um contínuo aquecimento global. Paralelamente, também se estudaram as variações da composição da atmosfera ao longo da história da Terra, em especial as variações das concentrações de dióxido de carbono. Para tal têm sido efetuadas leituras dos gases sequestrados nas camadas de gelo dos polos árticos. Essas leituras revelaram que atualmente, os níveis de CO₂ atmosférico estão 40% acima dos anteriores à Revolução Industrial, confirmando assim, que o Homem é responsável pelo aquecimento global registado (Braga *et al.*, 2014).

O químico holandês Paul Crutzen defende que o impacto das atividades humanas deu origem a uma nova Era geológica – o Antropoceno. No seu trabalho *“The Anthropocene”*, o autor nomeia alguns dos principais fatores de desenvolvimento do Homem, durante o século XX (1890-1990), que ilustram o impacto que as suas atividades têm nos sistemas da Terra. A população mundial cresceu 4 vezes e a população urbana 13, o setor industrial cresceu 40 vezes, o consumo energético 16 vezes e a extração de carvão 7, culminando em 17 vezes mais emissões de CO₂ para a atmosfera, ao mesmo tempo que a área florestal diminuiu 20% (Crutzen, 2006). *“Tendo em conta estes e muitos outros impactes em crescimento das atividades do Homem na Terra e na atmosfera, e a todas as escalas, incluindo a global, é mais que apropriado enfatizar o papel central do ser humano nos sistemas geológicos e ecológicos, através do uso de ‘Antropoceno’ para nos referirmos à atual Era geológica”* (Crutzen, 2006, p. 16; traduzido pelo autor).

1.1 O Clima: o que é e a sua evolução ao longo do tempo

“A palavra clima provém de vocábulo grego que designava uma zona da Terra limitada por duas latitudes e era associada à inclinação dos raios solares e, por extensão, às características meteorológicas predominantes” (IPMA, 2018). As terminologias *tempo* e *clima* são conceitos que geram, muito frequentemente, confusão no âmbito popular, embora com significados muito diferentes. A designação que estuda o estado da atmosfera a curto prazo é o *tempo* que está diretamente relacionado com a meteorologia, ou seja, aborda temperatura, humidade relativa, pressão do ar, etc.. O termo *clima* remete para um padrão climático definido durante um período de tempo (NOAA, 2018), no mínimo, 30 anos (IPMA, 2018), por apresentar as proporções adequadas para a recolha de informação suficiente para formar um padrão climático fidedigno (NOAA, 2018).

O clima da Terra sofreu variações periódicas alternando entre períodos glaciares e interglaciares nos últimos 800 mil anos. Atualmente situamo-nos num período interglaciar que já decorre há cerca de 20 mil anos e nos últimos 8 mil o clima tem apresentado uma estabilidade, chamado de *“longo verão”* (Santos 2006, 21). Desta forma, consoante a escala de tempo a que nos referimos, podemos obter padrões diferentes do clima na Terra. *“Nos últimos 650,000 anos já ocorreram sete ciclos de avanços e recuos dos glaciares, com o fim repentino da última era do gelo há cerca de 7,000 anos atrás e marcando o início da era do clima atual – e da civilização humana”* (NASA, 2018a). Estas alterações (anexo 1) devem-se sobretudo a pequenas variações na órbita da Terra em torno do Sol e no eixo de rotação da Terra que ditam a quantidade de radiação solar que o planeta recebe (Santos, 2006, p. 21).

1.2 Causas, impactes e projeções

Embora o clima da Terra tenha assumido um comportamento cíclico nas últimas centenas de milhares de anos, os últimos milénios revelam estabilidade climática. O período climático atual é reflexo de um equilíbrio por parte da radiação incidente e da radiação refletida. *“Da radiação solar incidente, cerca de metade é absorvida pela superfície da Terra, aproximadamente 30% é refletida de volta para o espaço por gases e aerossóis, nuvens e pela superfície da Terra (albedo) e cerca de 20% é absorvida pela atmosfera”* (Crisóstomo, 2015, p. 7).

Contudo, nas últimas décadas têm vindo a registar-se alterações abruptas no clima, provenientes de um aquecimento à escala global (anexo 2) que, em grande parte, é resultado da forma como as atividades antropogénicas têm sido desempenhadas com o surgimento da indústria, a meados do século XVIII (NASA, 2017). Desde então, a economia evoluiu totalmente dependente da queima de combustíveis fósseis, quer nos setores de transportes, produção de energia, agricultura, transformação, entre muitos outros (IPCC e Edenhofer, 2014).

O efeito de estufa decorre há milhões de anos e foi este que permitiu que a temperatura global pudesse evoluir até à atual, representando, assim, um valor crucial à existência de vida na Terra. Sucintamente, este efeito decorre da seguinte forma: o Sol emite radiação que, por ser de alta frequência – altamente energética – atravessa a camada de efeito de estufa. A que atinge a superfície da Terra é absorvida e consequentemente reemitida em direção ao espaço numa frequência mais baixa, em infravermelhos – radiação menos energética. No entanto, o efeito de estufa da atmosfera permite que parte dessa radiação, que a superfície da Terra reemitiu, fique retida na atmosfera e retorne à superfície. Desta forma dá-se um melhor aproveitamento da radiação proveniente do Sol,

refletindo-se num aumento da temperatura do Planeta. Assim, a combustão insustentável de combustíveis fósseis para o desenvolvimento da civilização resultou na acumulação excessiva de gases com efeito estufa (GEE) na atmosfera por via da emissão descontrolada desses gases (NASA, 2017). A uma escala global, as emissões de GEE aumentaram em 75%, desde 1970, maioritariamente devido à queima dos três combustíveis fósseis principais, sendo estes o carvão, petróleo e gás natural (Intergovernmental Panel on Climate Change e Edenhofer 2014; Santos 2006, 23). Inevitavelmente as concentrações de CO₂ atmosférico aumentaram pelo que, em 2004, registou-se o aumento desse gás em 35%, “(...) desde o valor pré-industrial 280 ppmv até ao valor de 370 ppmv em 2004” (Santos 2006, 23) (anexo 3). Atualmente estes valores continuam a evoluir no mesmo sentido, pelo que, a concentração de CO₂ atmosférico já ultrapassou os 400 ppm (NASA Global Climate Change, 2018) (anexo 4). Embora em menor escala, também a desflorestação excessiva e as alterações dos usos do solo durante as últimas décadas contribuíram para o aumento da concentração do CO₂ atmosférico, uma vez que as florestas desempenham um papel crucial para a fixação em grande escala deste gás (Santos, 2006, 23). Tudo isto se resume no aumento de emissões e num menor poder de sequestração de GEE, dando origem a uma atmosfera mais eficaz em refletir a radiação infravermelha e, portanto, mais eficaz em aquecer o planeta (NASA, 2017).

Para responder e participar cientificamente nas decisões políticas, a *World Meteorological Organization* (WMO) e o *United Nations Environment Programme* (UNEP) fundaram o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC). Este é, atualmente, o corpo internacional que gere a pesquisa científica relacionada com este tema. (IPCC - Synthesis Report, 2014). O IPCC produz relatórios altamente completos, tendo disponibilizado em 2014 o seu quinto e último relatório. No relatório de 2001, o painel definiu uma alteração climática como uma “variação estatisticamente significativa da média e/ou da variabilidade das variáveis que definem o clima e que persiste durante um período longo, tipicamente da ordem de décadas ou maior, sem identificar especificamente a causa daquela alteração” (Santos, 2006, 23). Neste último ano de 2014, foram apontados (anexo 5) os seguintes gases como os mais responsáveis pelo efeito de estufa excessivo atualmente registado na atmosfera terrestre: o dióxido de carbono (CO₂), sendo este o gás maioritariamente emitido pelo Homem – 76% do total das emissões mais precisamente – e atualmente o mais preocupante desta lista; o metano (CH₄) (IPCC e Edenhofer, 2014), com um poder de efeito de estufa vinte e cinco vezes superior ao do CO₂ (Yvon-Durocher et al., 2014); o óxido nitroso (N₂O); compostos perfluorados (PFCs); hidrofluorcarbonetos (HFCs) e hexafluoreto de enxofre (HCFCs). O mesmo relatório, chega ainda a enumerar os setores responsáveis pelas grandes parcelas das emissões de gases com efeito estufa fazendo referência à produção de energia através da queima de combustíveis fósseis (34%, maioritariamente CO₂) e agricultura, silvicultura e outros usos (24%, maioritariamente CH₄ e N₂O) (IPCC e Edenhofer, 2014).

As emissões de GEE atingem valores recordes todos os anos desde o início da indústria devido ao crescimento contínuo da população e da economia. Não existe margem de dúvida na comunidade científica que esta foi o principal motor que desencadeou o aquecimento global e a consequente desestabilização do clima (IPCC e Edenhofer, 2014). Os GEE permanecem na atmosfera por muito tempo, o dióxido de carbono atmosférico, por exemplo, tem um tempo de vida na atmosfera por milhares de anos, o que se reflete num efeito de estufa duradouro (US EPA, 2015). O facto dos GEE persistirem na atmosfera por longos períodos prolonga o efeito de estufa e portanto “o planeta (os oceanos em especial) leva tempo a responder ao aquecimento” (NASA, 2018b). Isto indica que mesmo

cessando por completo as emissões, prevê-se que as gerações futuras irão lidar com o aquecimento global por um indeterminado período (NASA, 2018b).

Devido à dependência da economia global nos combustíveis fósseis, prevê-se que as emissões de GEE irão continuar a aumentar ao longo do século, agravando o efeito de estufa na atmosfera e, por sua vez, intensificando os efeitos das alterações climáticas (Crisóstomo, 2015, p. 12). Assim, para que seja possível obter projeções do clima no futuro, são produzidos modelos climáticos muito complexos; *“incluem os subsistemas atmosfera e oceano, as suas interações e a descrição dos vários processos físicos, químicos e biológicos que determinam o clima”* (Santos, 2006, p. 28). Os atuais modelos (e mais realistas) são os Modelos de Circulação Geral (GCMs). Estes modelos processam os valores das variáveis meteorológicas (como temperatura, pressão atmosférica, humidade, entre outros) numa malha tridimensional, cujas células têm cerca de 300 km de resolução. É de realçar que com o desenvolver da tecnologia, não só os modelos climáticos vão evoluindo para maior precisão e fidelidade no resultado, como também as emissões antropogénicas de GEE e aerossóis vão sofrer alterações (Santos, 2006). Seguindo estes métodos para projetar o clima futuro, o IPCC apresentou quatro projeções denominadas de *Representative Concentration Pathways* – RCP – no quinto relatório. O gráfico em anexo (anexo 6) apresenta os quatro cenários: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. Cada um destes representa um cenário climático diferente para 2100 em relação aos valores pré-industriais (1750), sendo que o grau de gravidade de cada cenário varia mediante o ano em que se dá pico das emissões de GEE ao longo deste século seguido do declínio das mesmas. O cenário RCP 2.6 assume que as emissões de GEE atinjam o seu pico na decorrente década, ou seja, entre 2010 e 2020; no cenário RCP 4.5 o pico das emissões dar-se-á em torno de 2040; no cenário RCP 6.0 o pico das emissões será por 2080; e, por fim, o último e mais preocupante cenário, o RCP 8.5, não prevê nenhum pico (e por isso, nenhum declínio) nas emissões ainda neste século. Estas quatro projeções incluem nos cálculos os principais fatores que intensificam o forçamento radiativo, tais como os GEE, a camada de ozono, aerossóis e variação do albedo. Assim, os cenários para o ano de 2100 correspondem a um forçamento de 2,6; 4,5; 6,0 e 8,5 W/m², respetivamente. No mesmo relatório está ainda projetado o aumento da temperatura média global da superfície para o período entre 2081 e 2100, relativamente ao período entre 1986 e 2005, inserido nos seguintes intervalos: 0,3 e 1,7 °C (RCP 2.6); 1,1 a 2,6 °C (RCP 4.5); 1,4 a 3,1 °C (RCP 6.0); 2,6 a 4,8 °C (RCP 8.5) (IPCC e Edenhofer, 2014).

“O ciclo da água consiste na água armazenada na Terra em todas as suas fases, juntamente com todos os movimentos de água no curso do sistema climático” (Stocker et al, 2014, p. 1084). O aquecimento global irá trazer diferentes consequências para este ciclo consoante a região do planeta. Algumas regiões do planeta irão verificar um aumento na intensidade no ciclo de água, enquanto que noutras está prevista a diminuição do mesmo. Sucintamente, este desequilíbrio no sistema climático irá influenciar o ciclo da água de modo a beneficiar certas regiões do globo e prejudicar outras (Stocker, 2014).

Todos os estados de vida no planeta dependem dos oceanos por terem um peso substancial no equilíbrio das suas condições, visto ocuparem mais de 70% da superfície da Terra (National Geographic, 2017). As águas do mar desempenham uma função amortecedora crucial no clima da Terra e nas concentrações de gases na atmosfera, tais como o dióxido de carbono. De facto, os oceanos absorvem cerca de 40% do CO₂ libertado pelas atividades

humanas (Abraham, 2017). Por outras palavras, dos 1300 Gt CO₂² que foram emitidos para a atmosfera nos últimos 200 anos de atividade industrial, os oceanos absorveram 500 GtCO₂ (Metz e IPCC, 2005). Mas se por um lado os oceanos se têm comportado como amortecedores às variações que a civilização tem introduzido nestas últimas décadas, os mesmos começam também a apresentar motivo para preocupação consoante se vão ajustando à constante absorção de gases e temperatura. Com o aumento da concentração de dióxido de carbono, as águas dos oceanos baixam o pH, sendo que, desde a revolução industrial, as águas encontram-se cerca de 30% mais ácidas (Jenkins, 2009). Esta variação no pH das águas vai comprometer o futuro da vida marinha, como os recifes de corais. Segundo Charles Miller³, *“o aumento do dióxido de carbono no oceano poderá ter um efeito maior na vida na Terra que o dióxido de carbono atmosférico”* (Sullivant e NASA Global Climate Change, 2008; traduzido pelo autor). Ao mesmo tempo, a capacidade de sequestração deste gás diminui com o aumento da temperatura da água, pelo que, devido ao aquecimento global, tem-se registado um decréscimo na capacidade de absorção de CO₂ e até libertação de gás já sequestrado. Prevê-se por isso, que haja mais carbono a residir na atmosfera, intensificando o efeito de estufa e aquecimento global (Riebeek, 2008).

1.2.1 Precipitação extrema

Contrariamente à previsão da subida do nível do mar, construída com base em medições que apontam uma tendência, a previsão climática é bastante incerta, principalmente a longo prazo. *“A incerteza torna-se muito maior quando pretendemos efetuar a descrição do comportamento e evolução futura de um sistema complexo, tal como, por exemplo, o sistema climático”* (Santos, 2006, p. 38). Contudo, o IPCC publicou no relatório de 2013 as previsões climáticas calculadas para os diferentes cenários referidos anteriormente (RCP 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) e, de uma forma geral, existem alguns aspetos em comum entre todos os cenários. Relativamente ao regime hídrico, este trabalho revela grande confiança que o contraste entre regiões húmidas e secas, e estações húmidas e secas, aumente com a subida da temperatura (IPCC, 2013a).

Em teoria, o aumento da temperatura do ar e da superfície terrestre irá promover a evapotranspiração, contribuindo para um aumento na quantidade de vapor de água na atmosfera, a nível global. Com esta alteração, prevê-se apenas um aumento na intensidade da precipitação e não na sua frequência, ou seja, no que diz respeito a curtos eventos de precipitação, está previsto o aumento da ocorrência de tempestades intensas e individuais, e tempestades fracas serem menos frequentes (IPCC, 2013a). Este efeito climático é o principal responsável no desencadeamento de inundações urbanas a montante, onde o nível do mar ou a cota da maré não têm influência na eficiência do sistema de drenagem.

Scaife *et al.* (2012) elaboraram projeções climáticas para a região da Europa adaptando os modelos que o IPCC usou em 2007, que são os *“Hadley Center Global Environmental Model”* (HadGEM) e o *“ECHO-G Middle Atmosphere Model”* (EGMAM). Neste trabalho, o autor considera um intervalo de atmosfera, em altitude, superior ao usado pelos modelos anteriores, de modo a considerar a influência que as alterações na circulação da Estratosfera

² Gt CO₂ – 1 Gigatonelada de CO₂ que equivale a 1 milhão de toneladas (1015 gramas) de CO₂.

³ Charles Miller obteve o grau de doutoramento em Química Física na Universidade da Califórnia e é o investigador principal do programa *Carbon in Arctic Reservoirs Vulnerability Experiment* (CARVE) da NASA, onde são analisados os níveis de dióxido de carbono atmosférico e de metano no Ártico.

têm na interação entre essa camada e a Troposfera. Os modelos acima são referidos como *standard* e os modelos adaptados são tratados por *extended*. As projeções obtidas pelos modelos *standard* indicam um aumento significativo na precipitação média de inverno (dezembro a fevereiro) para a região no Norte da Europa, no entanto, as projeções obtidas através dos modelos *extended* não só revelam uma diminuição nítida nessas regiões, como um aumento significativo para as regiões do centro e Oeste da Europa, representadas no gráfico em anexo (anexo 7), contrariando as projeções de desertificação para a península ibérica. De seguida, Scaife *et al.* procedeu ao cálculo das projeções para futuros eventos de precipitação extrema, sendo que as diferenças entre as projeções *standard* e *extended*, visíveis no gráfico em anexo (anexo 8), apresentam um aumento na probabilidade de tempestades intensas para a península ibérica.

1.2.2 Alterações no microclima urbano

O aumento da temperatura média global da atmosfera projetado para o final do século XXI é maior nas regiões continentais que nos oceanos, perturbando, entre outros sistemas climáticos, o regime hídrico (Santos, 2006). Rodrigues (2017) resumiu o trabalho de Iain White⁴ nos impactos que as alterações climáticas terão em áreas urbanas numa tabela (i.1) que reúne os efeitos nas cidades mediante os fatores climáticos, sendo esses a subida do nível do mar, as mudanças nos padrões de temperatura e precipitação, extremos climáticos e, por fim, secas.

Tabela i.1 – Resumo dos impactos das alterações climáticas nas cidades. [Fonte: Rodrigues, 2007 (traduzido pelo autor)]

Fator climático	Efeito nas cidades
Aumento do nível do mar	Aumento do risco de “ <i>flash-floods</i> ” e de erosão costeira. Intrusão salina em aquíferos de água doce e impedimento de drenagem de caudais extremos. Diminuição da área de habitats inter-marés e sapais.
Alterações nos padrões de temperatura e precipitação	Tendência para um maior do número de eventos de precipitação extrema, sobrecarregando nos sistemas de cheias fluviais e urbanos, elevando o risco de inundações. Alterações nos padrões de temperatura e precipitação, como também movimentos de água subterrânea que pode causar colapso, arrastamento e deslizamento de terras. O aumento de temperaturas pode causar o estrago de infra-estruturas, incluindo o risco de sobre-aquecimento da rede de distribuição de energia. O aumento do uso de ar condicionado durante ondas de calor pode prejudicar a produção de energia. Efeitos prejudiciais na saúde, incluindo o aumento de incidências de cataratas e cancro de pele da exposição a radiação UV, pioramento da qualidade do ar devido a gases foto-químicos e ozono, propagação de doenças pela água e insetos, e mortes relacionadas com excesso de calor. Alterações fenológicas das plantas e animais.
Extremos climáticos	Maiores prejuízos em infra-estruturas e edifícios provenientes de episódios mais frequentes e intensos de ventos fortes e outros extremos climáticos. Perturbações nas redes de transportes serão mais frequentes. Agravamento dos efeitos (já presentes) das ilhas de calor nas cidades, levando a uma maior procura do uso de ar condicionado e podendo levar a escassez de água em algumas regiões.
Períodos de seca	Complicações tanto a nível da disponibilidade como da qualidade da água.

⁴ White, Iain. 2013. *Water and the City: Risk, Resilience and Planning for a Sustainable Future*. London: Routledge. Neste livro o autor enumera os principais impactos que as alterações climáticas irão ter nas áreas urbanas.

O quarto relatório do IPCC apresenta muito sistematicamente os impactos para diferentes setores de acordo com a evolução do aumento das temperaturas médias à superfície (de 0 a 5 °C) para o presente século no anexo 9. O primeiro setor retrata a evolução da disponibilidade de água mediante a latitude em questão, e o crescimento do número de pessoas que não têm água disponível. Assim, segundo a leitura deste setor, conclui-se que a disponibilidade de água irá aumentar nos trópicos húmidos e nas regiões a alta latitude, porém, a mesma irá diminuir, e a seca aumentar, nas regiões de média latitude e nas semiáridas de baixa latitude. Este mesmo relatório avança ainda com as principais alterações climáticas de uma forma global na Europa, pelo que algumas das conclusões são que as cheias de inverno e as *flash floods*⁵ tornar-se-ão cada vez mais frequentes, principalmente em regiões marítimas; inundações costeiras relacionadas com uma maior tendência para tempestades e subida do NMAM, afetando um acréscimo de mais de 1,6 milhões de pessoas anualmente; e por fim, principalmente na região mediterrânea, o ar tornar-se-á mais quente e seco, dando origem a mais frequentes e prolongados períodos de seca com épocas de incêndios florestais também mais longas. (IPCC, 2007).

Com estas projeções do clima, as entidades políticas devem tomar decisões direcionadas a esta crise que a todos afeta, embora de forma desigual. A comunidade científica afirma que as evidências científicas relativas à influência da atividade humana sobre o sistema climático são mais fortes do que nunca e que o aquecimento global é inevitável. Desde o começo da Revolução Industrial, que alguns momentos ficaram marcados na história da ciência climática. Em 1958, Charles David provou inequivocamente o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera; em 1965 um dos consultores do comité do Presidente dos Estados Unidos da América alertou para o facto do efeito de estufa ser um assunto de elevada preocupação; e, em 1988 estabeleceu-se o IPCC (BBC News, 2013).

Desde o final do século passado a comunidade científica tem-se reunido com os poderes políticos internacionais com o propósito de os alertar para o aquecimento global como um fator de grande preocupação e origem de graves consequências futuras para todo o planeta, incluindo a nossa própria espécie. Em 1992 realizou-se a Conferência das Nações Unidas no Ambiente e Desenvolvimento (UNCED) no Rio de Janeiro, onde foi adotada a Estrutura Convencional das Nações Unidas nas Alterações Climáticas (UNFCCC) (BBC News, 2013).

Existem, essencialmente, dois tipos de ações para combater as alterações climáticas: mitigação e adaptação; em que ambas são necessárias (Santos, 2006, 19). Mitigação resume-se à tomada de um conjunto de medidas que reduza, impeça e estabilize as emissões de GEE para a atmosfera (UN Environment, 2018) (NASA, 2018a). Já foram implementadas medidas de mitigação exemplares como os Protocolos de Montreal e de Kyoto, com o objetivo de cortar nas emissões de químicos prejudiciais à camada de ozono e de GEE, respetivamente (BBC News, 2013). O Acordo de Paris é o esforço a nível global mais recente estabelecido na Conferência das Nações Unidas nas Alterações Climáticas (COP21) em 2015 (Tamaki, Nozawa, e Managi, 2017), onde foram estabelecidos limites nas emissões de GEE de modo a não ultrapassar o aumento de 2 °C na temperatura média global sendo que o aumento ideal seria apenas até 1,5 °C, comparativamente aos níveis pré-industriais (The Paris Agreement, 2015). As medidas de adaptação são também essenciais, isto porque o sistema climático já se encontra perturbado, influenciando ambos os sistemas naturais e sociais, sendo que nas próximas décadas prevê-se um

⁵ Inundação súbita que causa danos materiais não necessariamente pela sua dimensão mas principalmente pela velocidade com que surge.

agravamento nessas perturbações, pelo que é crucial aplicar “*estratégias de adaptação para evitar ou minimizar os prejuízos nos sistemas (...) vulneráveis às alterações climáticas e para procurar garantir um desenvolvimento sustentável num contexto de mudança climática*” (Santos, 2006, p 37).

É de notar que as medidas de mitigação não resolvem situações pontuais mas sim a uma escala global, da mesma forma que as emissões de GEE contribuem para o aquecimento global. No entanto, as medidas de adaptação atuam localmente, uma vez que os efeitos das alterações climáticas não se manifestam de igual forma pelo globo.

A CIDADE E A SUA RELAÇÃO COM AS ÁGUAS PLUVIAIS

Atualmente, com mais de metade da população mundial a viver em espaço urbano (WHO, 2018) as cidades resultam de contínuas expansões e novas urbanizações nas periferias. Segundo Shuster et al. (2005), urbanizar implica a perturbação de um meio natural e, conseqüentemente, à impermeabilização desse solo. O mesmo afirma ainda que o processo de urbanização requer ações que perturbam o sistema hídrico como, por exemplo, a drenagem de zonas húmidas, redução de áreas inundáveis e alteração de terrenos para agricultura. No entanto, Shuster (2005, p. 1) defende que “o aumento de proporção de área coberta por superfície impermeável é o principal agente responsável pelas alterações hidrológicas associadas a este processo de urbanização”, isto porque, de modo a tornar a drenagem da região urbanizada mais eficiente, o mais usual é tentar drenar rapidamente por superfície ou canalizada, não considerando a infiltração de água no solo.

No seguimento dos estudos climáticos, onde se prevê para certas regiões do globo que os eventos de precipitação extrema se tornem cada vez mais frequentes e intensos (IPCC, 2007), surge a necessidade de se questionar a capacidade e a eficiência dos sistemas urbanos de drenagem pluvial para responder aos episódios extremos previstos para o futuro.

2.1 Evolução histórica do sistema urbano de drenagem pluvial

As estratégias de drenagem em meio urbano não sofreram praticamente qualquer evolução na Europa entre o período do Império Romano e o Século XVII. Com o propósito de combater a proliferação de doenças, surgiu no século XIX uma corrente higienista, que resultou na instalação de fontes seguras com água potável e sistemas de escoamento de esgoto para longe da cidade. No seguimento deste pensamento, foi universalmente implementado nas novas urbanizações um sistema de drenagem fundamentado numa rede separativa onde os esgotos e as águas da chuva não se misturam; conceito que surgiu no Reino Unido a meados do século IX (Matos *et al.*, 2008).

A intenção de separar as águas domésticas das pluviais surgiu após se verificar o quão prejudicial o sistema unitário é para o ciclo hídrico, em termos ambientais. Inicialmente, optou-se por tratar as águas conjuntas, no entanto, com o ganho de experiência, reconheceu-se que um sistema unitário é mais dispendioso a longo prazo, face a um sistema separativo. Isto deve-se principalmente ao facto do tratamento das águas dum sistema unitário envolver um caudal de maiores dimensões a tratar, quando comparado ao caudal de um separativo. Da mesma forma, em situações de precipitação extrema e num regime hídrico mais intenso, os coletores de um sistema unitário estão expostos a pressões superiores às que foram tidas inicialmente em consideração, provocando assim a jusante, onde a pressão é maior, ruturas nas tubagens e a saída de efluentes pelas tampas das caixas de visita. Um sistema unitário, em situações de tempestade, atinge um caudal superior à capacidade das estações de tratamento das águas residuais com maior facilidade que um sistema separativo. Nestas ocasiões, as estações são forçadas a interromper o tratamento, deixando essas águas escoarem diretamente para a linha de água ou o mar (Sousa, 2001). A seguinte figura (ii.1) compara ambos os sistemas.

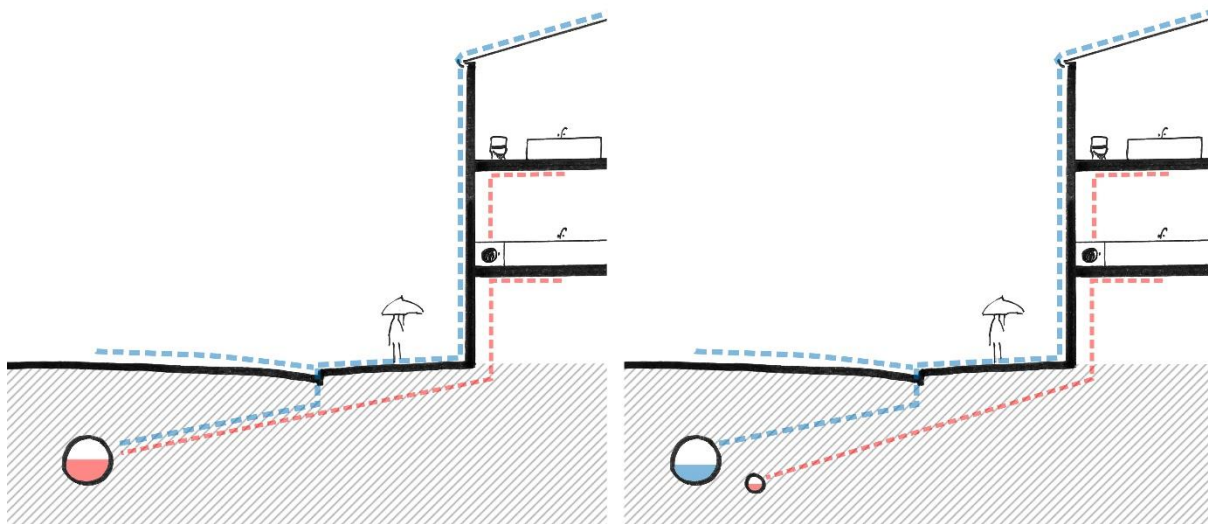


Figura ii.1 – Comparação entre sistemas de drenagem unitário e separativo. O sistema unitário, à esquerda, revela um único caudal de efluentes, encaminhado para uma estação de tratamento, enquanto o sistema separativo, à direita, resulta em dois caudais individuais de qualidades muito diferentes, onde as águas pluviais não passam por tratamento e apenas um caudal muito reduzido será tratado. [Fonte: ilustração do autor]

Richard Forman, conhecido como o “pai” da ecologia da paisagem, sintetizou as vantagens de ambos os sistemas de drenagem, na sua publicação *Urban Ecology* (2014). O sistema separativo apresenta vantagens significativas do ponto de vista ecológico face ao combinado, incluindo: “(1) *menos poluição grave das massas de água*; (2) *infraestruturas de menores dimensões e menos intrusivas (tubagens, estações de bombeamento e de tratamento*

de águas residuais), o que significa menor degradação ambiental derivada de construção e manutenção; (3) menos partículas e detritos transportados para estações de tratamento e (4) durante inundações e sobrecarga dos coletores, só atinge à superfície escoamento pluvial, sem resíduos humanos.” (Forman, 2014, p. 163; traduzido pelo autor). Contudo, Forman enumera algumas vantagens de um ponto de vista ecológico que o sistema unitário pode apresentar face ao separativo: “(1) número reduzido de tubagens, o que requer menor efeito de construção e manutenção e, (2) exceto em eventos de precipitação extrema, as estações de tratamento abastecem as massas de água com escoamento pluvial tratado” (Forman, 2014, p. 163; traduzido pelo autor). Por fim, Forman conclui que, de uma forma geral, os sistemas separativos apresentam benefícios ecológicos otimizados para as áreas urbanas, embora sejam mais dispendiosos.

No que toca a medidas sustentáveis de drenagem em espaço urbano, os Estados Unidos da América (EUA) tiveram um comportamento vanguardista. Em 1970, após um intenso crescimento urbano, os EUA aplicaram a *Clean Water Act* (Lei da Água Limpa) de modo a combater a poluição das linhas de água. Esta lei veio impor que se tratassem todos os efluentes derivados da ação humana. Mais tarde, nos anos 90, surgiu a preocupação de investir no desenvolvimento sustentável no espaço urbano, procurando assim o tratamento de todas as águas urbanas bem como uma gestão melhorada do escoamento pluvial (Fernandes, 2016). Em Portugal, foi apenas em 1995 que, ao abrigo do Artigo 119.º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, “*Na conceção de sistemas de drenagem pública de águas residuais em novas áreas de urbanização deve, em princípio, ser adotado o sistema separativo*” (DRE, 1995, p. 5296). Este regulamento complementa o Decreto-Lei n.º 207/94 que vem atualizar duas portarias, das quais, a Portaria n.º 11338 datada de 1946, onde já menciona a tecnologia de sistemas de drenagem separativo mas que não impõe por lei a sua aplicação em novas instalações (DRE, 1946, p. 336).

Segundo Tucci (2008), é crucial avaliar as consequências do sistema de escoamento pluvial, uma vez que um sistema desatualizado pode resultar em graves inundações em áreas urbanas. Estas podem surgir, em simultâneo ou isoladamente, por via de dois processos: inundações em zonas ribeirinhas provocadas por períodos de cheia e inundações no interior da cidade.

2.2 Risco e vulnerabilidade das cidades às alterações do clima

“Os riscos naturais são fenómenos que, inerentemente, envolvem consequências adversas para a sociedade.” (Paprotny *et al.*, 2018, p. 2; traduzido pelo autor).

O fator de risco está em todo o lado, tem origem das nossas próprias ações, de forma direta ou indireta, e é-nos imposto imparcialmente. Os riscos que corremos surgem de muitas formas. De uma forma muito genérica, o conceito de risco é o que ameaça o que nós valorizamos. As alterações climáticas, por exemplo, são uma fonte de riscos indiretos, que atuam de forma desfasada no tempo e por todo o planeta. Os riscos variam segundo vários aspetos: do controlo que temos sobre a situação, do medo que eles despertam, de quão reversíveis os danos são, entre outros (Fischhoff e Kadvany, 2011). Por outro lado, Ascher (2004, p. 35), define perigo como “*o que ameaça ou compromete a segurança, a existência de uma pessoa ou coisa*” e risco como “*um perigo eventual, mais ou menos previsível e mensurável*”.

A influência da atividade humana sobre o clima já é responsável por provocar eventos climáticos extremos que se irão agravar ao longo deste século. É por isso essencial estudar a vulnerabilidade dos sistemas sociais e naturais a estas alterações, como também os impactes positivos e negativos associados, de modo a potencializar os positivos e minimizar os prejuízos dos negativos. De acordo com Santos (2006, p. 31), *“a vulnerabilidade descreve o grau com que um sistema natural ou social é suscetível de suportar ou não os efeitos adversos das alterações climáticas, a sua sensibilidade e a sua capacidade de adaptação”*. Santos define esta capacidade de adaptação como sendo a capacidade do sistema se adaptar às variações da média bem como da variabilidade das variáveis, de forma a moderar os estragos potenciais e obter vantagens das novas situações. Atualmente, esta definição vai muito ao encontro do conceito de resiliência que, embora ainda não seja totalmente concordante por toda a literatura, apresenta pontos em comum.

Os desastres relacionados com cheias são um risco natural sério para muitos países da Europa, mas o número de vítimas dos últimos anos tem sido relativamente baixo, graças a fiáveis sistemas de previsão e estruturas de proteção, como diques, reservatórios, paredes de betão, entre outros. Ainda assim, os prejuízos materiais e financeiros, têm sido elevados nas últimas décadas (Siegrist e Gutscher, 2006).

Embora as alterações climáticas sejam um problema de discussão à escala mundial, as cidades requerem uma atenção especial por um conjunto de razões que as diferem do resto do território. Talvez, a principal razão seja por acolherem a maioria da população global; contudo o meio urbano, por ser um ambiente artificial, comporta-se de forma diferente aos efeitos do clima, apresentando os seus próprios riscos, sejam em forma de ilhas de calor, de episódios de cheias ou inundações provocadas pela impermeabilização extensiva da superfície do solo, de destruição de zonas urbanas situadas em zonas costeiras em perigo de erosão, entre outros. (Doherty *et al.*, 2016)

2.3 Inundações em Espaço Urbano

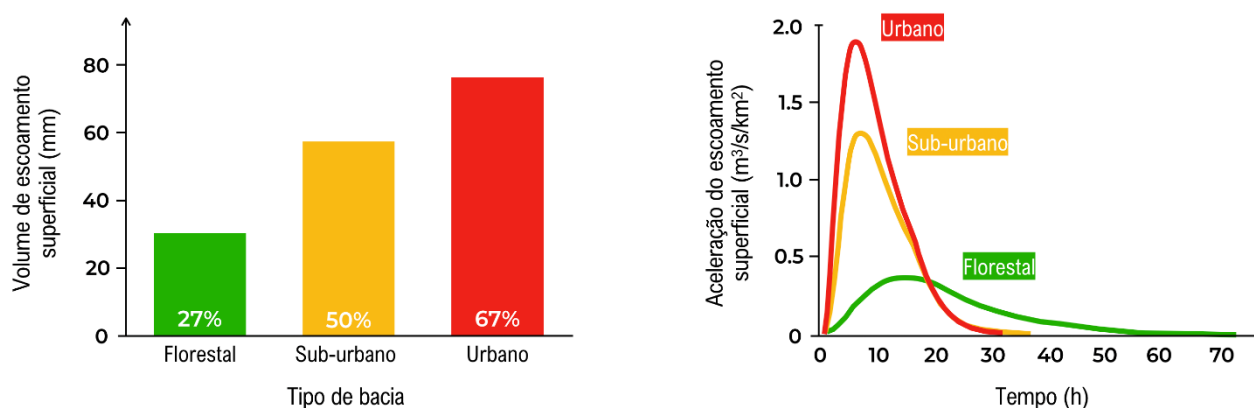
Segundo Lima *et al.* (2013, p. 326), *“a vulnerabilidade aos fenómenos extremos aumentou significativamente nas últimas décadas, devido a vários fatores tais como o aumento da população, a concentração nas zonas urbanas, a pressão no litoral, o aumento das superfícies impermeáveis, desaparecimento de zonas húmidas, construções em zonas de inundações, etc.”*

Os termos cheias e inundações tratam fenómenos distintos. Sem a intervenção do Homem, as cheias dão-se naturalmente, nos leitos de cheia das linhas de água, *“devido à variabilidade, espacial e temporal, da precipitação e do escoamento ao longo da bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, definida com base na topografia circundante”* (Fernandes, 2016, p. 5). Estas cheias apenas ocorrem após longos períodos de precipitação ou curtos períodos de precipitação intensa (Fernandes, 2016). Segundo Ramos (2013), todas as cheias provocam inundações, embora nem todas as inundações sejam provocadas por cheias. *“As inundações são fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa”* (Ramos, 2013, p. 11).

Em muitas regiões do mundo, as cheias são essenciais para o equilíbrio de ecossistemas e para o enriquecimento das terras agrícolas. Por exemplo, as cheias do rio Nilo, no Egito, eram essenciais para a fertilização dos solos e

por conseguinte obter maior rendimento das terras (Satoh e Aboulroos, 2017). Antigamente as civilizações viviam em harmonia com a dinâmica dos sistemas naturais da paisagem. O problema surge com a criação dos mecanismos que possibilitou a expansão das urbanizações para zonas ribeirinhas, como a drenagem de zonas alagadas para a construção em leitos de cheia. Após a revolução industrial, e com a rápida expansão urbana das cidades, troços de linhas de água foram totalmente impermeabilizadas, por vezes totalmente encanadas, de modo a construir diretamente sobre o seu curso. Em Portugal, o acompanhamento dos poderes políticos na expansão da malha urbana foi deficiente, sendo que muito frequentemente, por falta de ordenamento do território e planeamento urbano, foram construídas novas urbanizações em zonas impróprias a tal. Este tipo de decisões resulta num risco acrescido para os residentes, apesar dos reforços dos sistemas de drenagem e da construção de novas e maiores infraestruturas de prevenção de eventos de inundações ou cheias (Fernandes, 2016). Na cidade de Lisboa, a ribeira de Alcântara foi encanada, e constitui um dos melhores exemplos nacionais para demonstrar os problemas de inundações derivados da construção em zonas ecologicamente sensíveis.

Uma urbanização localizar-se em leito de cheia não é o único fator que contribui para este tipo de episódios. A redução da área permeável na superfície de uma cidade é também um fator que conduz a ocorrências de inundações urbanas. O processo de urbanização passa pela impermeabilização do solo com capacidade agrícola para a construção de ruas, edifícios, parques de estacionamento, entre outros; impedindo o processo de infiltração das águas pluviais e resultando num aumento do volume de águas a escoar à superfície. Consoante a relação entre superfície permeável e impermeável, não só a quantidade de água a escoar à superfície vai variar, como também o caudal ao longo do tempo. Ou seja, quanto maior for a proporção de área coberta por superfície impermeável, maior será a aceleração do escoamento (Blair *et al.*, 2014). Os seguintes gráficos (ii.1 e ii.2) ilustram exatamente estas duas questões aqui abordadas comparando-as segundo três bacias hidrográficas de caráter distintos: florestal, suburbana e urbana.



Gráficos ii.1 e ii.2 – Volume de precipitação convertida em escoamento superficial (esquerda) e aceleração do caudal de escoamento (direita), relacionando entre os dois gráficos três bacias hidrográficas de características distintas: florestal, sub-urbana e urbana. É de notar o impacto que o aumento de área impermeável tem na aceleração do caudal das águas, sendo que a área urbana apresenta, para o mesmo evento de precipitação, um pico de caudal muito superior à florestal, podendo por vezes causar situações de inundações urbanas. [Fonte: Blair *et al.*, 2014]

A aceleração do caudal é agravada em situações onde o sistema de drenagem é unitário, ainda muito presente nas zonas mais antigas das cidades, que tendem a localizar-se nas cotas mais baixas. Na ocorrência de precipitação intensa, estas zonas são mais suscetíveis a inundações, pelo facto dos sistemas unitários apresentarem maior risco de sobrecarga. Esta ocorre quando as tubagens mais antigas, nas zonas baixas das cidades, não terem sido dimensionadas para os novos valores de caudal resultante das novas urbanizações a montante. Desta forma, após eventos de extrema precipitação, os sistemas unitários deixam de ser capazes de escoar o caudal total; dá-se assim a inversão da direção do fluxo, forçando o levantamento da tampa das câmaras de visita e saída dos efluentes, provocando inundações com todos os perigos e prejuízos daí inerentes (Fernandes, 2016; Blair *et al.*, 2014). Conclui-se que os sistemas de drenagem de muitas cidades não estão atualizados e, portanto, preparados para responder aos efeitos das alterações climáticas do presente. No seguimento desta temática, seria imprudente não estudar como as cidades serão afetadas por estas condições. Segundo o quinto relatório do IPCC (2015) os eventos de cheias irão tendencialmente aumentar, não só pelo aumento do nível das águas do mar, mas também pelos eventos de precipitação extrema irem tornar-se mais intensos e frequentes em muitas regiões do globo, como já visto anteriormente. De forma a sintetizar os efeitos da urbanização no ciclo da água, o esquema na figura ii.3 resume essas consequências e ilustra a complexidade desse mesmo problema.

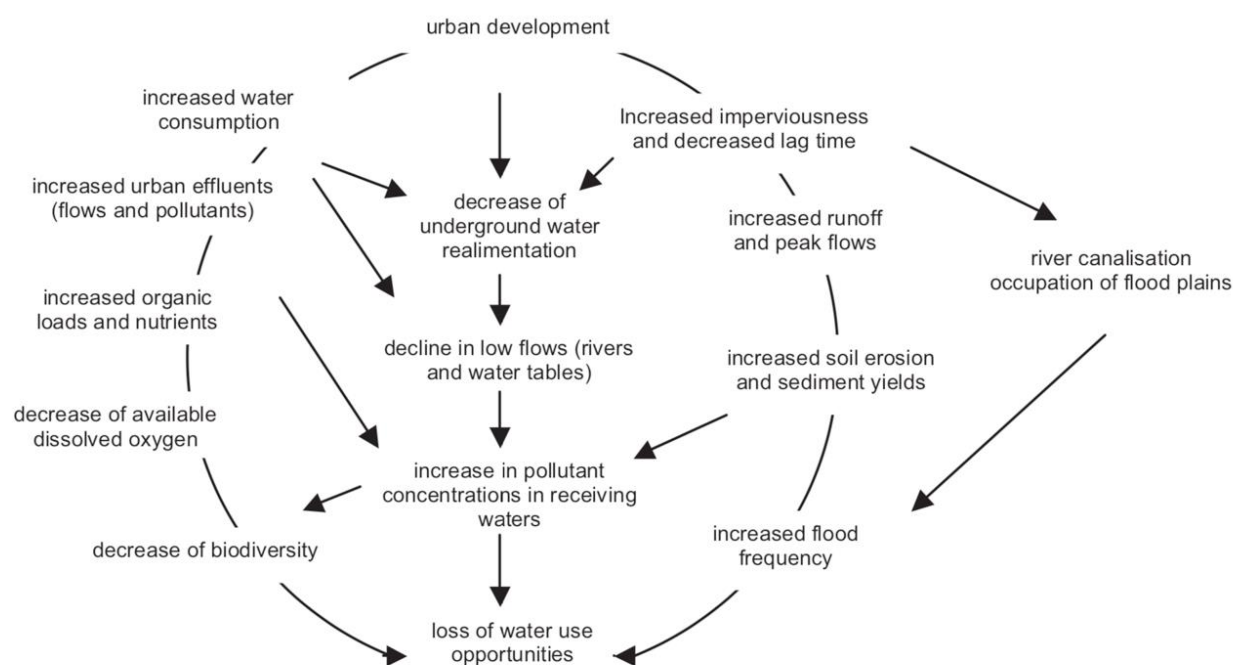


Figura ii.2 – Efeitos da urbanização sobre o ciclo da água. [Fonte: Chocat *et al.*, 2007]

2.4 Adaptação das cidades às alterações climáticas

É importante procurar soluções de adaptação aos efeitos das alterações climáticas, para além de tentar combatê-los exclusivamente por meio de medidas de mitigação. A adaptação de uma cidade para o clima futuro é por isso um passo imperativo, que tanto o governo, como as instituições e o público têm de adotar a fim de impedir ou minimizar os prejuízos nos sistemas sociais e naturais (Santos, 2006).

Este tema não é recente. Já o Protocolo de Quioto, em 1997, reconhecia a importância dos países desenvolvidos tomarem medidas de adaptação às consequências futuras das alterações climáticas. O IPCC desenvolveu este assunto, pela primeira vez, no terceiro relatório, em 2001. Nele, o painel disponibilizou previsões de possíveis efeitos sobre o território, pelo que esta informação revelou ser essencial para que os países e regiões pudessem desenvolver os seus próprios relatórios, mais detalhados e aplicados ao seu território. Em Portugal, o trabalho publicado após este relatório do IPCC resultou, em 2002, no primeiro relatório relativo às alterações climáticas aplicado ao território nacional, o Projeto SIAM (Costa, 2013).

Segundo Costa (2013), no período entre 2005 e 2008 decorreu uma sequência de marcos que marcaram a mudança da perceção da proximidade às alterações climáticas e da intensidade dos eventos meteorológicos extremos. Primeiramente, em agosto do ano de 2005, o furacão Katrina devastou a cidade de *New Orleans*, provocando a morte a mais de 1800 pessoas e enormes prejuízos, tanto físicos como financeiros. De seguida, em 2007, o IPCC publicou o quarto Relatório de Avaliação, onde representou graficamente as estimativas para o aquecimento global, mediante o comportamento por parte dos poderes políticos relativamente à libertação de gases de efeito de estufa. Nesse mesmo ano, estabeleceu-se o Plano de Ação de Bali, onde se afirmou a necessidade de ações de adaptação, tais como: estratégias de redução de desastres, cooperação internacional na implementação de ações urgentes, reforço do desenvolvimento tecnológico como suporte à adaptação, entre outras. Por último, em 2008, a Comissão Delta Holandesa publicou o relatório "*Working together with water, a living land builds for its future*". Este documento veio inverter a relação entre a cidade e o mar, pelo que, em vez de construir infraestruturas de defesa que poderiam trazer consequências devastadoras na eventualidade de um dia falharem, adotou-se uma política de redução do risco de desastre, aceitando a água como um elemento compatível com a cidade (Costa, 2013; UNFCCC, 2007).

Costa e Matos Silva têm vindo a desenvolver trabalho, através do Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, na Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, no âmbito da adaptação das cidades para as alterações climáticas (2016, 2017). Segundo os autores, as inundações são dos impactos climáticos mais frequentes em meio urbano, revelando maior perigosidade em espaços abertos devido à sua maior vulnerabilidade. As cidades são dos locais mais vulneráveis aos impactos dos extremos climáticos pela sua localização física, "*isto porque, na grande maioria dos casos, estão situadas em locais vulneráveis como zonas costeiras, foz de grandes rios ou em áreas baixas de estuários e deltas*" (2017, p. 1; traduzido pelo autor) e também pelo seu valor como sistema social, "*uma vez que [as cidades] são onde a maior parte da população mundial reside e onde existem as maiores construções, bem como as maiores atividades económicas*" (2017, p. 1; traduzido pelo autor). Desta forma, adaptar as cidades a inundações tornou-se numa das prioridades no desenho do espaço público urbano, isto porque não atuar significa arriscar a perda de qualidade ambiental, atividades económicas, infraestruturas e até mesmo a perda de vidas.

Atualmente, as intervenções para adaptar as cidades aos efeitos das alterações climáticas, mais propriamente aos riscos associados à água, sejam eles relacionados com o nível do mar ou o ciclo hídrico, baseiam-se frequentemente nas técnicas defensivas de engenharia (Rodrigues, 2017); no capítulo posterior será apresentado um exemplo. Contudo, com a evolução do clima, é inevitável questionarmo-nos se as práticas de adaptação até hoje desenvolvidas são suficientes para suportar os efeitos do clima futuro. Matos Silva *et al.* (2016) concluíram que,

no seguimento desta preocupação, a resposta para a adaptação de uma cidade apoia-se na convergência entre disciplinas, dada a complexidade do sistema urbano. Esta multidisciplinariedade requer o conhecimento e a experiência das comunidades locais (abordagem *bottom-up*⁶), bem como o *input* de diferentes áreas profissionais (visão *top-down*⁷), “de arquitetos paisagistas a investigadores de alterações climáticas, de urbanistas a peritos em microclimas, entre outros” (Matos Silva *et. al*, 2016, p. 22).

Perante a incerteza que reside no futuro do clima, e dos impactes que este irá ter sobre o meio urbano, a resposta mais apoiada pela literatura é a resiliência. Segundo Otto-Zimmermann (2012) uma cidade resiliente é aquela que “tem a capacidade de responder de forma criativa, preventiva e proactiva a mudanças ou eventos extremos, de forma a mitigar a crise ou desastre” (p. 101), ou seja, este conceito, segundo o autor numa breve explicação, ultrapassa a tentativa de redução do risco, ao preparar a cidade a eventos extremos, reduzir a vulnerabilidade e aumentar capacidade de se adaptar.

2.4.1 O papel do espaço público na adaptação às alterações climáticas

No dia 10 de agosto deste ano (2018), o Arquiteto e Professor Ali Madanipour foi um dos oradores na Conferência PSSS (*Public Space Service System*, ou Sistema de Serviços do Espaço Público; traduzido pelo autor) que decorreu na Fundação Calouste Gulbenkian, sendo o tema desse dia “*Para que serve o Espaço Público? Depende...*”. O Professor falou sobre o que este conceito significa e as várias perspetivas que pode ter: do ponto de vista arquitetónico pode ser visto como um espaço de ausência – o “vazio” entre o construído; a nível social, e numa perspetiva realista, o espaço público é frequentemente interpretado de uma forma negativa – um sítio de colisão, um espaço não-privado. Contudo, o orador vê o espaço público como um local para partilha e inclusão social (não de colisão) e defende que o facto de se apresentar como um “vazio” na malha urbana, o espaço público abre inúmeras possibilidades ao seu potencial. Nesta apresentação, o Professor enumerou alguns dos aspetos que definem um espaço como público: um nível de publicidade⁸, uma entidade gestora e flexibilidade do espaço. Ali Madanipour escreveu o capítulo *Urban Design and Public Space* (Design Urbano e Espaço Público, traduzido pelo autor) para a *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (Enciclopédia Internacional das Ciências Sociais e Comportamentais, traduzido pelo autor; 2015). Neste texto, o autor critica a problemática global em redor da construção de espaços descuidados e mal projetados, sem continuação nem coerência com a malha envolvente, mas defende que parte da responsabilidade é das instituições públicas que negligenciaram as funções nucleares que o espaço público desempenha numa cidade.

No sentido de uniformizar o desenho da cidade de Lisboa e incentivar novas práticas que promovam um uso mais descentralizado (principalmente da circulação automóvel) e diverso, a CML elaborou o Manual de Espaço Público, um documento técnico onde são referidas as regras a cumprir e algumas sugestões para projetos inseridos em espaços públicos.

⁶ Processo ascendente. (Whitlam, 2012)

⁷ Processo hierarquizado. (Whitlam, 2012)

⁸ No seu sentido literal; o que é público; *publicness*

O Manual de Espaço Público serviu como guia de desenho a usar posteriormente na fase de projeto, onde se estudaram as regras e sugestões para o desenho do espaço público da cidade de Lisboa, e de que forma estas irão condicionar a futura metodologia. Com o estudo deste documento pretende-se reunir os parâmetros essenciais de desenho de forma a que as propostas neste projeto apresentem coerência com o Manual do Espaço Público (e, por conseguinte, com a restante cidade), tendo em vista a possibilidade destas virem a ser integradas neste documento e, futuramente regulamentá-las. O primeiro capítulo do manual aborda os seis diferentes espaços públicos onde cada um é descrito pormenorizadamente relativamente à sua geometria. Este é o capítulo que mostrou ser relevante para o tema deste trabalho de fim de curso e o projeto apresentado mais à frente.

Do espaço público, o passeio é o que apresenta maior disponibilidade e versatilidade, contudo, é importante conhecer o espaço que realmente está disponível para poder intervir. A localização relativa destas soluções pretende cumprir com a recolha das águas pluviais que são atualmente drenadas pelo sistema convencional e que irão de certa forma ocupar o local dos dispositivos atuais. O manual organiza assim os passeios em dois tipos: os adjacentes a vias de 2.º e 3.º nível (vias de distribuição principal ou secundária) e os adjacentes a vias de 4.º e 5.º nível (vias de proximidade ou de acesso local). O primeiro tipo deve ter uma largura mínima de 2,25 m livres de obstáculos para duas pessoas se cruzarem sem dificuldade, sendo que excecionalmente, podem surgir troços de largura mínima de 1,80 m (até 5 m de comprimento). Para o segundo tipo de passeios, não se justificam intervenções, visto sobrar muito pouco espaço (no entanto o pavimento nos lugares de estacionamento adjacente à estrada deve ser permeável). Neste capítulo são também enumeradas as dimensões e inclinações relativas ao passeio e ao enfiamento das passadeiras de peões, de modo a salvaguardar a acessibilidade e a drenagem.

No sentido de implementar uma estratégia de adaptação às alterações climáticas, existem diferentes abordagens possíveis para promover a resiliência do espaço público e atenuar os efeitos das alterações climáticas nas cidades. Na perspetiva de tornar as suas cidades mais resilientes, em 2014, a República Popular da China investiu mais de 1 bilião de euros⁹ na implementação de um plano a nível nacional chamado de *Sponge City Plan* (SCP) (Plano Cidade Esponja, traduzido pelo autor). Esta iniciativa representa um enorme esforço, e sem precedentes, por parte de um governo na tentativa de atingir sustentabilidade urbana. Este plano tem um conjunto de objetivos muito bem definido: controlo eficaz de inundações urbanas, captura de águas pluviais, melhoria na qualidade da água e restauro ecológico. De uma forma genérica, uma *Sponge City* pretende contrariar a visão urbanística tradicional onde a água é um elemento externo à cidade e, por conseguinte, deve ser drenado o mais rápido possível. No âmbito dos efeitos das alterações climáticas, o objetivo principal de combater inundações urbanas, pretende-se aliviar o sistema de drenagem ao reter uma parte das águas pluviais no interstício urbano. Por outras palavras, a metodologia deste plano passa por aumentar a capacidade de armazenamento de água da chuva das bacias urbanas. O seguinte gráfico (ii.3) apresenta o volume de armazenamento de água (altura em polegadas¹⁰) que as bacias urbanas de seis cidades dos EUA, de diferentes regiões climáticas, necessitam de apresentar para capturarem iguais quantidades (percentuais) de águas pluviais por ano (Jia *et al.*, 2017).

⁹ 1 bilião de euros = 1.000.000.000,00 €

¹⁰ 1 polegada = 25,4 milímetros (1 mm corresponde a 1 l/m² de área)

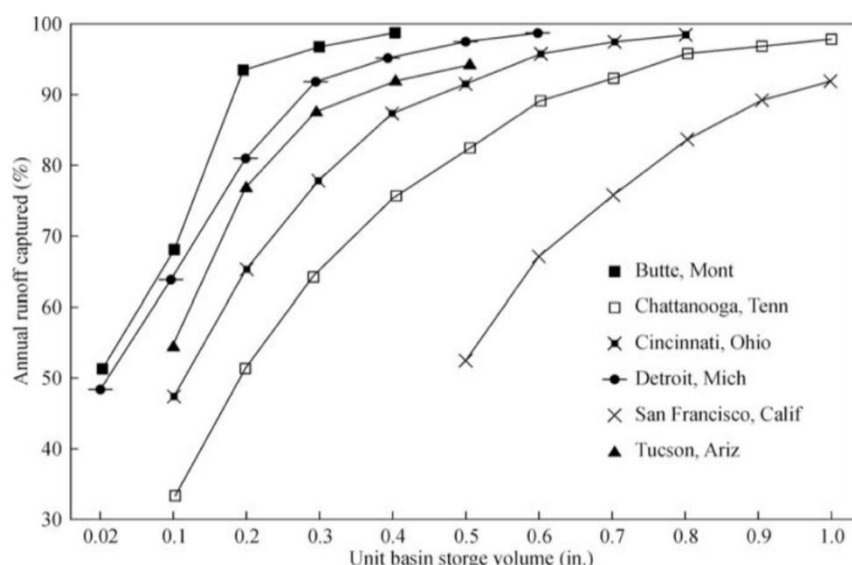


Gráfico ii.3 – Volumes de bacias urbanas de diferentes regiões climáticas (eixo X) para armazenar as mesmas quantidades de águas pluviais por ano (eixo Y). [Fonte: Jia *et al.*, 2017]

Embora o conceito de *Sponge City* tenha sido alvo de muita atenção nas comunidades urbanística e científica, as práticas que este defende já tinham sido aplicadas em certas cidades. Tenha-se, por exemplo, o município da cidade de Nova Iorque, nos EUA, que já em 2010 pôs em prática o “*Green Infrastructure Plan*” (Plano de Infraestrutura Verde, traduzido pelo autor) cujas práticas apresentadas partilham os mesmos princípios e fundamentos científicos que uma *Sponge City*, no entanto, sem uma força de marketing com tanto impacto. O plano para a cidade de Nova Iorque, defende uma abordagem que se foca, principalmente, na retenção e infiltração das águas pluviais, de modo a prevenir picos de caudais muito elevados. A tabela ii.1 apresenta alguns exemplos mais pertinentes das medidas que este plano defende. (NYC, 2010)

Tabela ii.1 – Potenciais estratégias aplicáveis a diferentes usos do solo, apresentadas pelo *Green Infrastructure Plan*, em Nova Iorque, nos EUA. [Fonte: Jia *et al.*, 2017]

Uso do solo	Potenciais estratégias
Ruas e passeios	Vales, massa arbórea, pavimento permeável
Complexos residenciais multifamiliares	Retenção de águas nos telhados, telhados verdes, infiltração e retenção subsuperficial, cisternas de águas pluviais, rain gardens*, vales, massa arbórea, pavimento permeável
Parques de estacionamento	Vales, pavimento permeável, zonas húmidas induzidas
Lotes vacantes	Jardins de chuva, jardins
Parques urbanos	Vales, pavimento permeável, zonas húmidas induzidas

A cidade de *Malmö*, na Suécia (da mesma forma que Nova Iorque) tem práticas semelhantes às de uma *Sponge City*, instaladas no bairro de *Augustenborg*. Este bairro, nas décadas de 80 e 90 sofreu um conjunto de intervenções com o objetivo de diminuir os prejuízos provocados pelas inundações cada vez mais frequentes devido à

sobrecarga do sistema de esgotos. Haghighatafshar *et al.* (2018) abordam os benefícios das “*blue-green storm-water solutions*” aplicadas neste bairro sueco sendo que, para os autores, estas soluções são vistas como medidas de prevenção de futuras sobrecargas dos sistemas de drenagem já existentes. O conceito é simples; preparar o interior deste bairro para acolher o máximo de água possível sem comprometer a vivência do bairro. O bairro foi repensado de forma a baixar as cotas de espaços públicos, como campos de *football* e jardins. Deste modo é possível responder às necessidades da estratégia sem limitar o uso destes espaços a um só uso. Toda a água da chuva proveniente dos telhados, estradas e parques de estacionamento são conduzidas por canais, no total de 6 Km, atravessando lagoas (10 no total), zonas húmidas e valetas, até a água não infiltrada ir terminar na rede de esgoto convencional. É de notar que todos os edifícios construídos a partir de 1998 têm instalados telhados verdes, resultando num total de cerca de 10.000 m² (um hectare). Em face disto, as inundações cessaram, invertendo a sua reputação, para um sucesso exemplar a nível internacional (Haghighatafshar *et al.* 2018; EEA, 2014).

O conceito de *Sponge Cities* e as estratégias *Green Infrastructure Plan* e *Blue-Green Stormwater Solutions* apresentados anteriormente defendem uma visão, de certa forma antagónica, relativamente às práticas comuns da maioria das grandes cidades do mundo no que toca à drenagem das águas pluviais urbanas, que ainda se apoiam maioritariamente em soluções complexas de engenharia. Contudo, é de referir que, os sistemas de esgotos constituem um exemplo onde os conhecimentos de engenharia muito contribuíram para solucionar o problema de doenças e maus cheiros, muito presentes nas cidades até ao séc. XX, ao escoar as águas residuais conjuntas (domésticas e pluviais) até às linhas de água.

GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO COMBATE À VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES URBANAS

A água desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de uma cidade, seja por questões geográficas, representando ainda nos dias de hoje, importantes oportunidades de transporte e comércio, seja pelos recursos que disponibilizam, como alimento e água. Estes corpos de água contribuem ainda para a climatização dos centros urbanos e, com muita frequência, diluem caudais de esgotos, com ou sem tratamento. No que toca às águas pluviais, o desenvolvimento urbano evoluiu no sentido de as drenar para as linhas de água, visto interferir com a dinâmica e eficiência dos seus sistemas. Através dos conhecimentos de engenharia hidráulica, construíram-se complexas redes de drenagem compostas por calhas, canalizações em metal, túneis de grandes dimensões em betão, resultando num sistema de elevado custo, tanto de construção como de manutenção. No entanto, de uma perspetiva de sustentabilidade tendo em vista a incerteza climática no futuro, é questionável se é sensato continuar a tentar controlar as águas pluviais recorrendo aos métodos convencionais (NACTO, 2017).

A atitude perante a presença da água na cidade deve ser adaptada à realidade atual e às projeções climáticas do futuro — os regimes hídricos estão a tornar-se mais intensos a uma escala global resultando num aumento na frequência e intensidade das inundações nas cidades — colocando em causa a eficiência das infraestruturas convencionais face às condições climáticas futuras (IPCC, 2013a). Brown *et al.* (2008) organizou e identificou em seis fases¹¹ a evolução do modo como as cidades têm gerido as águas pluviais (figura iii.1): (1) *Water Supply City*, (2) *Sewered City*, (3) *Drained City*, (4) *Waterways City*, (5) *Water Cycle City* e (6) *Water Sensitive City*. Esta interpretação é resultado de seis anos de estudo e três etapas de pesquisa, a primeira remete para o passado, a segunda para o presente e a terceira para o futuro. A *Water Supply City* define o período cuja prioridade era fornecer água a uma população em crescimento, a *Sewered City* corresponde à Era em que drenar os resíduos sanitários se tornou uma prioridade, por sérias questões de saúde pública, e a *Drained City* surge com a preocupação de drenar as águas pluviais da forma mais eficiente possível para facilitar a rápida expansão urbana que se verificou após a Segunda Guerra Mundial. Nesta última fase de transição cometeram-se grandes erros a níveis ambientais, ao encanar linhas de água, como a Ribeira de Alcântara, e a drenagem de várzeas. Estas três fases de transição correspondem à primeira etapa que se baseia na pesquisa histórica. A segunda etapa da pesquisa reúne a *Waterways City*, que remete para o final dos anos 60 quando surgiu o movimento global de consciencialização ambiental, onde foram desenvolvidas novas tecnologias de tratamento das águas residuais; e a *Water Cycle City* que respondeu ao reconhecimento dos limites dos recursos naturais, nomeadamente a água e nas suas limitações em abastecer uma população mundial em crescimento e na incapacidade de receber mais poluentes das atividades humanas. Isto deve-se precisamente ao facto de ser nesta fase que surge consenso na necessidade de atingir sustentabilidade social, económica e ambiental. A terceira etapa é resultado de uma pesquisa orientada para previsões futuras, composta pela evolução da fase referida anteriormente e pela *Water Sensitive City*. Embora

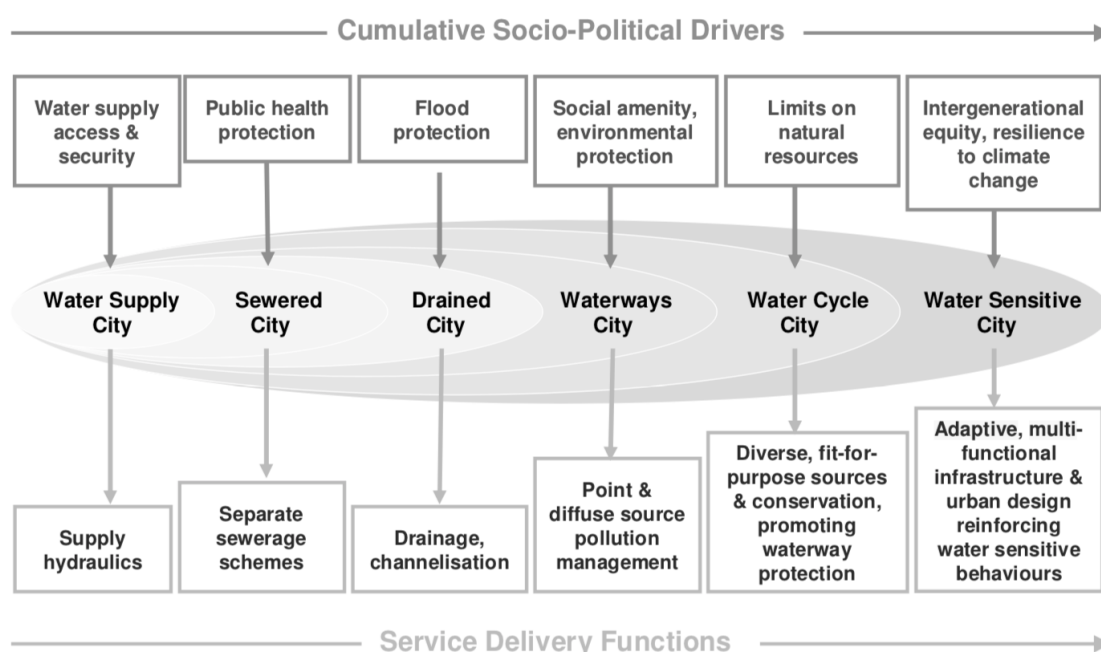


Figura iii.1 – Diagrama representativo da evolução da gestão das águas pluviais urbanas. [Fonte: Brown *et al.*, 2008]

¹¹ Possíveis traduções para as fases de transição: (1) Abastecimento de Água, (2) Sistema de Esgotos, (3) Drenagem, (4) Canais de Água, (5) Ciclo da Água e (6) Sensibilidade à Água

ainda não exista nenhuma cidade que tenha atingido esta fase, os autores prevêem que no futuro as cidades giram os diferentes processos do ciclo da água de forma adaptativa e multifuncional, de modo a atingir resiliência às alterações climáticas, entre outros aspetos.

De forma a tornar as cidades mais resilientes é necessário interpretar a água da chuva através de uma perspetiva mais sustentável (Saurí *et al.*, 2017). No futuro, as tempestades serão mais frequentes e os períodos de seca mais longos (IPCC, 2013a), sendo por isso sensato aproveitar a água da chuva, principalmente em cidade de climas secos no verão, como é o caso de Lisboa. No seguimento desta preocupação, “nas últimas décadas (...) os sistemas urbanos de drenagem e a literatura associada têm verificado e adotado um vasto conjunto de ‘novos’ termos que pretendem descrever a evolução na direção de uma estratégia mais consciente” (Fletcher *et al.*, 2015, p. 526). Fletcher *et al.* (2015) reuniu e analisou a evolução histórica dos seguintes termos, entre outros:

- × *Low impact development* (LID) e *low impact urban design and development* (LIUDD) (desenvolvimento de impacto reduzido, traduzido pelo autor), mais comum na América do Norte e na Nova Zelândia, começou a ser usado na década de 1970 e segue a filosofia “*design with nature*”¹² com o objetivo de diminuir os custos da gestão das águas pluviais.
- × *Water sensitive urban design* (WSUD) (desenho urbano sensível à água, traduzido pelo autor), teve origem na Austrália nos anos 90 e o principal objetivo é desenhar e planejar soluções que minimizem ao máximo o impacto do desenvolvimento urbano no sistema hidrológico, focando o combate das inundações urbanas, a gestão do escoamento superficial, a melhoria da qualidade da água e a criação de oportunidades de armazenamento de água da chuva para usos não-potáveis.
- × *Integrated urban water management* (IUWM) (gestão integrada das águas urbanas, traduzido pelo autor) é um conceito relativamente lato e refere-se à gestão de todas as partes do ciclo da água inseridas no espaço urbano, ou seja, da fonte de abastecimento de água, da água subterrânea, da água residual e das águas pluviais. Este conceito foi muito usado na década de 1990, sendo que atualmente aproxima-se dos termos WSUD, *water sensitive cities* (referido anteriormente) e LID.
- × *Sustainable urban drainage systems* (SUDS) ou *sustainable drainage systems* (SuDS) (sistemas sustentáveis de drenagem urbana, traduzido pelo autor), surgiram no final da década de 1980 no Reino Unido, inicialmente na Escócia e mais tarde em Inglaterra e no País de Gales. Atualmente, os seus princípios defendem o uso de técnicas sustentáveis que consigam drenar o escoamento superficial, replicando ao máximo o processo natural de drenagem num dado local antes de ter sido alvo de qualquer intervenção urbana. De certa forma, este conceito respeita a dinâmica dos processos naturais, pelo que se assemelha do termo LID.
- × *Best management practices* (BMPs; práticas de gestão melhorada, traduzido pelo autor) é principalmente usado nos países da América do Norte, sendo que nos Estados Unidos esteve integrado no *Clean Water*

¹² Esta designação surge com a publicação “Design with Nature” Ian L. McHarg em 1971. Com este termo, McHarg pretende consciencializar-nos para uma forma de ocupar e planejar a paisagem salvaguardando a dinâmica dos sistemas naturais. Este conceito defende os mesmos valores que as *nature-based solutions* (NBS) (ou soluções baseadas na Natureza, traduzido pelo autor)

Act em 1972 (mencionado no capítulo anterior deste trabalho) e focou-se no tratamento de águas residuais. A definição deste termo evoluiu no sentido de se aplicar ao combate à poluição no geral.

- × *Source control* (controlo na origem, traduzido pelo autor) surgiu na América do Norte e inicialmente pretendia atuar no tratamento do escoamento superficial, antes de entrar no sistema de drenagem. Atualmente internacionalizado, este termo refere-se ao uso de técnicas de pequena escala, o mais próximo possível da origem das águas pluviais, de forma a controlar o escoamento desorganizado e promover os processos naturais de evapotranspiração e infiltração.

Recorrendo a estratégias que respeitem os processos naturais (NBS) contribui-se para uma mudança na forma de se interpretar as águas da chuva na cidade, adaptando o espaço público à sua estadia – temporária ou definitiva. Ao reintroduzir estes processos nas cidades, pretende-se devolver ao meio urbano a resiliência que se foi perdendo, principalmente ao longo do último século, com a construção e impermeabilização extensiva, em zonas sensíveis como leitos de cheia ou linhas de água (NACTO, 2017; Saurí *et al.*, 2017).

“Por ‘controlo na origem de águas pluviais’ entende-se um conjunto diversificado de técnicas de controlo local, a montante da rede, que permite a redução dos caudais de ponta e dos volumes de águas pluviais afluentes aos coletores, essencialmente através de processos de retenção, de infiltração ou da combinação de ambos” (Leboeuf *et al.*, 2015, p. 95). Os tipos de soluções de controlo na origem podem ser organizados segundo duas vertentes contrastantes: as *green stormwater infrastructures*¹³, que abrangem as NBS, promovem a infiltração das águas pluviais através de espaços verdes e permeáveis; e as *gray infrastructures*¹⁴, que reúnem as soluções convencionais onde prevalecem as técnicas de engenharia, resultando em estruturas rígidas, por vezes de grande porte, como reservatórios subterrâneos cujo volume pode atingir vários milhares de metros cúbicos. Ambas vertentes apresentam os seus prós e contras, dependendo do ponto de vista de análise, sendo que cada situação pode apresentar diferentes aptidões para cada uma delas (Saurí *et al.*, 2017).

Para situações a curto prazo, cuja solução exija um retorno imediato, a opção mais viável pode ter que passar por soluções monofuncionais e centralizadas (inseridas nas *gray infrastructures*) muito eficientes após a sua construção. Barcelona é um exemplo notório, quando em 1997 foi aprovado o plano de drenagem que propôs a construção de 12 reservatórios para as zonas da cidade mais vulneráveis a inundações, concluídos em 2015, resultando num volume total de 500.000 m³. Estas soluções exigem elevados custos de construção e a manutenção torna-se mais dispendiosa com o envelhecimento destas estruturas (Saurí *et al.*, 2017). Segundo o *New York City Green Infrastructure Plan* (Plano de Infraestruturas Verdes da Cidade de Nova Iorque), atualizar a rede combinada da cidade usando apenas *gray infrastructures* significava um investimento de aproximadamente 6.8 mil milhões de \$US (6 mil milhões de euros). Contudo foi possível poupar 1,5 mil milhões de \$US (1,3 mil milhões de euros) ao conciliar *gray infrastructures* com *green stormwater infrastructures* (New York: City of New York, 2010). Este último grupo de soluções surge como complemento aos sistemas tradicionais, e são fundamentais no desenho de uma cidade resiliente a eventos de precipitação extrema (NACTO, 2017).

¹³ Infraestruturas verdes de drenagem pluvial (traduzido pelo autor)

¹⁴ Infraestruturas cinzentas (traduzido pelo autor)

A eficiência e a exigência de manutenção das soluções que funcionam com base nos processos naturais é em muito semelhante às dos jardins e parques urbanos. Como é do conhecimento do arquiteto paisagista, com o passar do tempo os espaços verdes evoluem no sentido de se tornarem mais eficientes e menos dependentes de manutenção, uma vez que, com o desenvolvimento do material vegetal, estes adquirem capacidade de se autos-sustentarem, principalmente devido ao crescimento radicular, capaz de captar água e nutrientes em maior quantidade. Simultaneamente, também se verifica o aumento da eficiência dos processos de fitorremediação.

Existem outros benefícios provenientes destes dois grupos de estratégias, para além da prevenção de inundações. Como referido anteriormente, com as previsões para o aumento dos períodos de seca, a água da chuva ganha um carácter acrescido de recurso a não desperdiçar. O consumo de água nos núcleos urbanos é de tal modo exigente que requer um abastecimento artificial de regiões exteriores às suas fronteiras. Deste modo, as *gray infrastructures* que permitem o armazenamento da água da chuva surgem como uma solução para esta crise em ascensão, como há muitos séculos se tem conseguido, com recurso a cisternas e tanques. Por outro lado, as *green stormwater infrastructures* favorecem a captura, filtragem e infiltração das águas pluviais no subsolo viabilizando a recarga de aquíferos que desempenham um papel importante no ciclo da água. (NACTO, 2017). Lisboa, por exemplo, é abastecida principalmente por água proveniente da albufeira de Castelo de Bode e da Serra de Aires e Candeeiros, culminando num volume total superior a um milhão de metros cúbicos diários, transportados por uma rede de adução com cerca de 700 km (EPAL, 2018). A cidade de Barcelona é outro exemplo, uma vez que 70% do abastecimento de água provem dum só sistema, a “Bacia Ter-Llobregat”; no entanto, já em 2002 foi aprovado o plano *Citizen Commitment for Sustainability* onde se assinalou a importância de existirem origens alternativas de água para consumo. Em 2009 o município inaugurou uma estação de dessalinização com a capacidade de 60 milhões de m³/ano (European Commission, 2018) como medida de adaptação a períodos de seca, na incerteza da capacidade futura da bacia Ter-Llobregat. Atualmente esta estação abastece 20% da população da cidade, com um *input* no sistema de 200.000 m³/dia (Saurí *et al.*, 2017).

As redes de abastecimento urbano servem as cidades de água potável. No entanto, e no seguimento da questão de sustentabilidade, a água utilizada pelos municípios para a rega de espaços verdes e limpeza de rua não necessita ser potável. Já a água armazenada em reservatórios é adequada para esses usos, mesmo sem tratamentos extensivos, para além da deposição dos sedimentos sólidos. Estes processos de retenção e armazenamento das águas pluviais foram uma realidade no passado mas que se adequam à realidade atual mais que nunca.

3.1 Categorias e tipos de medidas de adaptação a inundações aplicáveis ao espaço público

Matos Silva (2016) estudou várias medidas de adaptação a inundações em espaço público e organizou-as segundo categorias e tipos de medidas, apresentando para cada tipo, um ou mais exemplos de projetos internacionais (tabela iii.1). Esta tabela reúne um vasto conjunto de soluções para diferentes tipos de inundações urbanas, sendo que apenas as primeiras oito categorias, e respetivos vinte e dois tipos de medidas, se concentram na precipitação extrema como principal fator de causa.

Tabela iii.1 – Categorias e tipos de medidas de adaptação a inundações urbanas em espaço público.

[Fonte: Matos Silva, 2016, p. 209; adaptado e traduzido pelo autor]

CATEGORIAS	TIPOS		
A VEGETAÇÃO URBANA	1	Paredes verdes	H RECUPERAÇÃO DE LINHAS DE ÁGUA
	2	Guarda-chuvas invertidos	
B MOBILIÁRIO URBANO	3	Instalações de arte	
C COBERTURA DE RETENÇÃO	4	Telhados verdes	I SISTEMAS DE DRENAGEM A CÉU ABERTO
	5	<i>Blue roofs</i>	
D RESERVATÓRIOS	6	Bacias de retenção artificiais	
	7	Praças de água	
	8	Reservatórios subterrâneos	J ESTRUTURAS FLUTUANTES
	9	Cisternas	
E BIO-RETENÇÃO	10	Bacias húmidas de bio-retenção	
	11	Bacias secas de bio-retenção	K RESISTÊNCIA À ÁGUA
	12	Valas de bio-retenção	
	13	Caldeiras de bio-retenção	L ESTRUTURAS SOBRELEVADAS
	14	Jardins de chuva	
F PAVIMENTO PERMEÁVEL	15	Pavimentos perfurados	M DEFESA COSTEIRA
	16	Pavimentos de encaixe	
	17	Pavimentos permeáveis	N PAREDES DE INUNDAÇÕES
G TÉCNICAS DE INFILTRAÇÃO	18	Trincheira de infiltração	
	19	Sargeta verde	O BARREIRA
			P DIQUE
			20 Reabilitação de linhas de água
			21 Restauro de linhas de água
			22 Descanalização de linhas de água
			23 Valeta de arruamento
			24 Extensão de canais
			25 Alargamento de canais
			26 Represa de controlo
			27 Caminho flutuante
			28 Plataforma flutuante
			29 Ilhas flutuantes
			30 Parques inundáveis
			31 Caminhos inundáveis
			32 Caminhos suspensos
			33 Viadutos
			34 Defesas multifuncionais
			35 Quebras-mar
			36 Aterros
			37 Paredes esculpidas
			38 Paredes de vidro
			39 Barreiras desmontáveis
			41 Taludes de declive suave

As soluções inseridas nas categorias *vegetação urbana*, *mobiliário urbano* e *coberturas de retenção* pretendem reter água da chuva de modo a diminuir o pico de inundação e aliviar o caudal do sistema de drenagem. A categoria *reservatórios* agrega as medidas cujo principal objetivo é reter e/ou armazenar a água da chuva. Os reservatórios subterrâneos são um tipo de estratégia, geralmente de grande capacidade, de retenção temporária do escoamento pluvial de modo a atenuar o pico de inundação, enquanto que com uma cisterna pretende-se armazenar água da chuva para futuros usos. As cisternas eram muito comuns antigamente, principalmente em regiões onde a disponibilidade de água potável era escassa, e as suas dimensões podem variar consoante a escala do uso, embora esta seja uma estrutura atualmente de menores dimensões em comparação com os reservatórios subterrâneos. As soluções integradas nas categorias *biorretenção*, *pavimentos permeáveis*, *técnicas de infiltração* e *recuperação de linhas de água* têm em comum a capacidade de reter e infiltrar as águas pluviais no subsolo, contudo, apenas as que se inserem na categoria de *biorretenção* reúnem as condições que possibilitam a evapotranspiração das águas pluviais. Desta categoria resultam dispositivos que consistem em depressões escavadas no terreno para onde o escoamento desorganizado é encaminhado e retido, até infiltrar no solo. De forma a facilitar a infiltração das águas, estas medidas são com frequência implementadas com uma camada de inerte poroso instalada sob a camada de solo à superfície. A vegetação adequada para estas medidas é a de carácter ripícola e, em situações onde o escoamento apresente constituintes poluentes, é adequado o uso de vegetação com propriedades fito-remediadoras, abordada de seguida. (Matos Silva, 2016)

3.1.1 Fitorremediação

Em zonas urbanas e suburbanas o escoamento superficial resultante das águas pluviais foi identificado como um agente poluidor para as massas de água que as recebem. A qualidade dessas águas depende das características

dos poluentes presentes nas superfícies por onde escoaram. Os químicos que mais frequentemente se encontram nas águas pluviais antes de serem tratadas costumam ser nutrientes, metais pesados, matéria orgânica, herbicidas, e hidrocarbonetos (Malaviya e Singh 2012; Al-Ameri *et al.* 2018; Chappell 1998). Alguns destes constituintes são altamente prejudiciais à vida humana e marinha, caso estas águas não sejam tratadas antes de desaguiarem em rios ou oceanos (Malaviya e Singh, 2012).

Fitorremediação¹⁵ é uma técnica que usa plantas e os microrganismos associados à rizosfera dessas mesmas plantas para remover, degradar ou imobilizar químicos nocivos presentes no solo, na atmosfera, em sedimentos e, principalmente, na água superficial ou subterrânea (Chappell, 1998). É assim, importante complementar a rede de drenagem convencional com soluções de controle na origem usando vegetação com propriedades de fitorremediação. O tratamento do escoamento superficial, imobilizando os químicos nocivos no material vegetal, vai prevenir a contaminação da rede hidrológica, à escala local (como aquíferos) como à escala global (por via das linhas de água que desaguiam nos oceanos). O processo de escolha das espécies tem de respeitar os requisitos bio-físico-climáticos dos jardins de chuva, como tolerância à imersão permanente ou temporária das raízes e/ou de outras partes da planta, a períodos de seca, a diferentes níveis de poluição, ou até à presença de salinidade.

3.2 Obras e projetos de referência

As alterações climáticas são hoje tidas como uma realidade para o futuro, mas os esforços em adaptar as cidades não têm acompanhado o mesmo ritmo das políticas de mitigação. Porém já existem algumas obras, atuais ou passadas, que revelam a preocupação do Homem em se adaptar a condições climáticas adversas. Em anexo (10) estão reunidas mais imagens relativas aos projetos seguintes.

3.2.1 Houtan Park



Figura iii.2 – Houtan Park – Shanghai, China. [Fonte: landzine.com, 2011]

¹⁵ Fitorremediação deriva do grego antigo (*fito* significa planta) e do latim (*remedium* significa restaurar equilíbrio).

Este parque estende-se linearmente pela margem ribeirinha do rio *Huangpu* com a cidade de Shangai, com 1.700 metros de comprimento, entre 5 e 30 metros de largura, resultando numa área de 14 hectares, assente sobre uma antiga área industrial. O novo parque acolheu a Expo de 2010 onde se devolveu o até então aterro ao público. O objetivo principal foi restaurar este local tão degradado, em particular a linha de água em questão, que se encontrava altamente poluída. Na escala nacional de qualidade das águas, este rio apresentava o nível mais baixo (nível V), pelo que era proibido nadar por questões de saúde, da mesma forma que não existiam condições para vida aquática. Outro desafio deste projeto foi mudar a estratégia de combate às cheias, onde inicialmente estava assegurada por um muro em betão (com 6,7 m de altura) que protegia a cidade de eventos de cheias de 1000 anos, mas que inviabilizava o acesso da população ao local. Enquanto motor de remediação do rio *Huangpu*, usaram-se técnicas como cascatas e terraços para promover a oxigenação das águas ricas em nutrientes do rio e favorecer a deposição e retenção desses mesmos nutrientes. Usaram-se também inúmeras espécies de plantas aquáticas, subaquáticas e ribeirinhas com propriedades fito-remediadoras de modo a fixar os diferentes poluentes presentes na água. Com este projeto, os testes indicam que é possível tratar 2.400 m³ de água para nível III. A água resultante deste processo de tratamento foi usada para múltiplos usos não-potáveis durante a Expo desse ano, poupando meio milhão de \$US. Em 2010 ganhou o prémio de excelência atribuído pela *American Society of Landscape Architects* (Landezine, 2011; International ASLA, 2010).

O resultado obtido neste projeto é notável e serve como um excelente exemplo de como é possível tratar águas altamente poluídas utilizando espécies de vegetação com caráter fitrremediador e técnicas de oxigenação. A intenção do projeto deste parque é consciencializar quem o visita para o potencial dos serviços de ecossistema, neste caso como estação sustentável de tratamento de resíduos industriais e como estratégia de combate a cheias.

3.3.2 Enghaveparken Now



COPENHAGA, DINAMARCA | em construção (estimado para 2019)

Atelier: Tredje Natur

Cliente: Município de Copenhaga

Figura iii.3 – Enghaveparken Now – Copenhaga, Dinamarca. Atualmente o parque ainda se encontra em construção, vista a necessidade do uso de uma simulação. [Fonte: Tredjenatur.dk/en, 2014]

O desafio do concurso baseou-se em adaptar o Enghaveparken, um parque com 85 anos, às novas condições climáticas, mas principalmente aos novos regimes hídricos, visto que a cidade de Copenhaga tem registado um

aumento na frequência e intensidade de tempestades. No entanto, foi importante preservar o desenho original do parque, estando este protegido por valor histórico. O atelier vencedor explica que, como o clima, também os usos do espaço público sofrem alterações, o que influenciou o desenho da equipa em inserir os novos usos a cotas mais baixas. Desta forma entendeu-se este parque como uma possível bacia de retenção responsável por recolher, armazenar e infiltrar o volume de água da chuva que incida no parque, bem como o de duas ruas que o limitam a norte e a sul. A água assume uma relação com o parque que se revela em três etapas. Na primeira a água surge segundo calhas que recolhem as águas que escoam do exterior para o interior do parque, ocupando uma *water plaza* central. A segunda etapa surge quando esta primeira praça conecta com um reservatório subterrâneo e outra *water plaza*. A terceira etapa revela-se ao longo de todo o parque, pois este foi escavado com uma ligeira inclinação terminando a sul num talude. Deste conjunto de estratégias resulta uma capacidade total de reter até 24.000 m³ de água, contribuindo para um atraso do pico de inundação (Tedje Natur, 2014).

Este projeto tem a intenção de desenhar este espaço público como esponja, e o resultado acaba por ser um *statement* que combate a ideia de que a água pluvial não tem lugar no interior do espaço urbano. Esta obra serve, por isso, como referência no modo de como criar espaços adaptados (ou adaptar outros já existentes) à realidade climática atual e futura.

3.3.3 Jardim de chuva no UMass *Design Building*



Figura iii.4 – Jardim de chuva em redor do *Design Building* da UMass – Massachusetts, EUA.

[Fonte: Fotografia de autoria de Maria Matos Silva, 2019]

A Universidade de Massachusetts construiu em janeiro de 2017 o *Design Building* (edifício de Design, traduzido pelo autor) para atender às aulas dos programas de Arquitetura, Arquitetura Paisagista e os departamento de Tecnologias de Construção. Um dos objetivos deste projeto foi desenhar um edifício que demonstrasse e inspirasse um *design* sensível às preocupações ecológicas da atualidade. No que diz respeito ao tema aqui discutido,

a área que envolve o edifício foi transformada num jardim de chuva de forma a tratar e infiltrar as águas da chuva das zonas impermeáveis adjacentes. A localização deste projeto está inserida numa situação particular a nível hidrológico e topográfico, tendo sido, por isso, um requisito de maior importância que se respeitassem os processos naturais desse espaço, no que diz respeito à dinâmica da água. O seguinte esboço explicativo (figura iii.5) evidencia a condução do escoamento superficial da água da chuva no topo da cobertura do edifício. A arquitetura desta cobertura tem um desenho que conduz a água para uma fonte no lado Este, onde cai livremente no jardim, para um aglomerado de pedras. Daqui, a água escoar lentamente para as zonas mais baixas do jardim atravessando um leito em pedra e uma série de degraus, de forma a diminuir a velocidade do escoamento e promover a deposição de detritos sólidos. Ao chegar à zona baixa do jardim, a água alaga largas bacias revestidas por pedras, solo e vegetação ripícola que contribuem para a filtragem das águas durante o processo de infiltração. O limite da cota de armazenamento é assegurado por descarregadores de superfície que drenam o excedente para uma linha de água próxima do local (UMass, 2018).

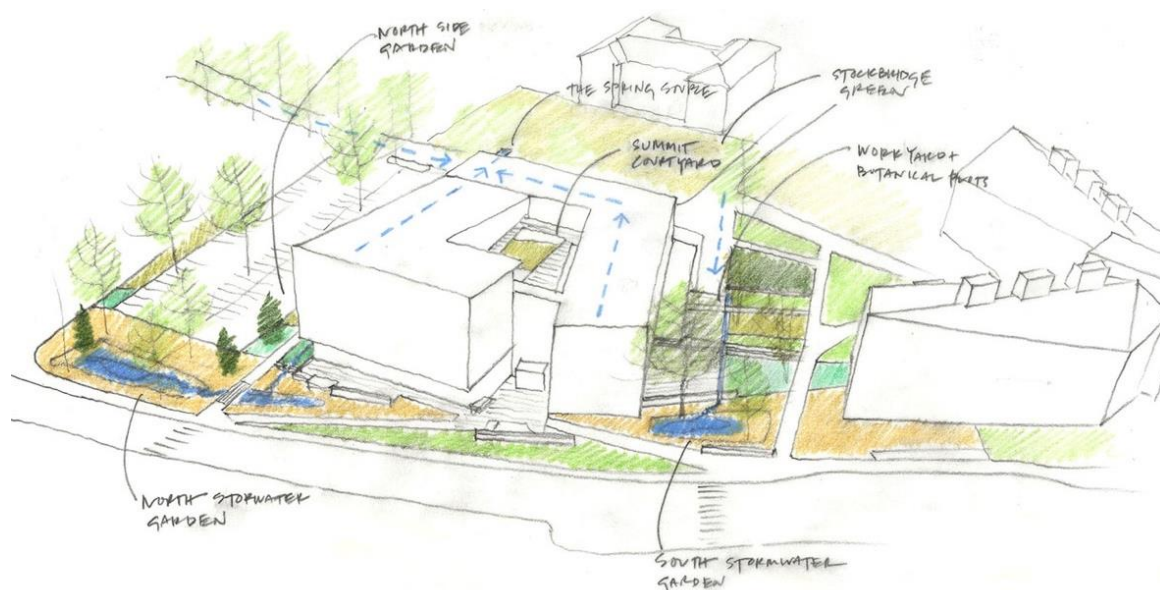


Figura iii.5 – Esboço do escoamento superficial na cobertura do *Design Building* da UMass.
[Fonte: lwa-architects.com, 2019]

Neste projeto, é notória a colaboração de conhecimentos entre a arquitetura e a arquitetura paisagista para atingir uma meta de sustentabilidade, num projeto que procura inspirar futuros projetistas, esta obra serviu como referência para o presente trabalho, ao revelar uma clara intenção em respeitar os processos naturais da dinâmica hidrológica, utilizando soluções de gestão de água pluvial que procuram reter e infiltrar o escoamento, ao invés de o conduzir para o sistema convencional de drenagem.

3.3.4 Praça de Espanha

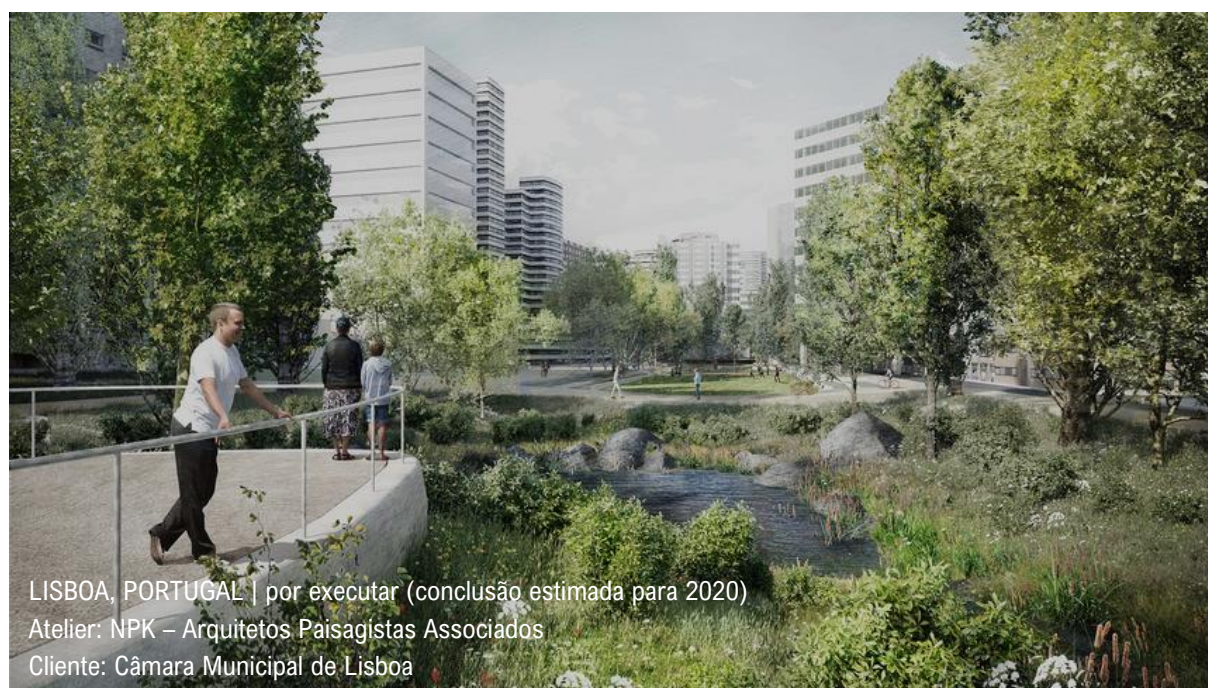


Figura iii.6 – Jardim da nova Praça de Espanha – Lisboa, Portugal. [Fonte: observador.pt, 2019]

A Praça de Espanha desempenhou um papel importante na circulação automóvel da cidade até à construção do eixo Norte-Sul, sendo atualmente um elemento ineficiente nas suas funções rodoviárias. Esta praça é dos locais da cidade onde as inundações urbanas são mais recorrentes, representando um grande obstáculo à fluidez dos sistemas urbanos de circulação. O desenho atual deste espaço tem impedido o usufruto do seu interior por parte dos habitantes da cidade como zona verde de lazer. Com este projeto pretende-se (1) reestruturar a circulação rodoviária deste local e a dinâmica do espaço público, e (2) diminuir a vulnerabilidade deste local a episódios de inundações urbanas. A estratégia para este espaço passa por reorganizar a ligação das avenidas que se intercetam nesta praça, e obter uma circulação mais eficiente, fluida e segura. A rede viária será complementada com percursos cicláveis e um viaduto pedonal que liga o interior da Praça de Espanha com o jardim da Fundação Calouste Gulbenkian (FCG). O novo desenho da rede rodoviária devolve o interior da praça aos habitantes da cidade, uma vez que este será transformado num parque urbano com uma área de cinco hectares (CML, 2019).

O projeto propõe a implementação de soluções sustentáveis de modo a combater as inundações frequentes desta zona, como a renaturalização da linha de água e a construção de uma bacia de retenção de águas pluviais para efeitos de infiltração, como uma solução de controlo na origem inspirada nos processos naturais. Esta nova área verde fará a ligação entre o jardim da FCG e o Corredor Verde de Monsanto, sendo assim um contributo para a Estrutura Ecológica Municipal (CML, 2019).

O projeto para a nova Praça de Espanha surge como uma obra de referência nacional, que reconhece o potencial do espaço público na adaptação da cidade de Lisboa a eventos extremos provenientes das alterações climáticas, através de uma estratégia sustentável e integrada com os sistemas naturais e urbanos.

3.3.5 Chand Baori



Figura iii.7 – *Chand Baori*. *Bandikui*, Índia. [Fonte: Wikipedia.org, 2019]

O *Chand Baori* (*Baori* significa poço em escada) é um poço construído há mais de mil anos atrás, recolhido na vila de Abhaneri, perto de Jaipur, na Índia. Esta região da Índia é semiárida, o que obrigou a população a desenvolver vários métodos de coleção e armazenamento de águas, tanto de origem pluvial como do subsolo. A arquitetura, a escala e o estado de conservação é o que fazem deste poço algo de único no mundo. As suas paredes são formadas por escadas simetricamente esculpidas compostas por milhares de degraus, que dão acesso ao fundo situado a mais de 20 metros de profundidade, tendo sido construído com as dimensões necessárias para abastecer a população por um ano, até à próxima época de chuva. Atualmente fora de atividade, este monumento serviu durante muitos séculos como fonte de água para consumo doméstico para a população vizinha durante períodos de seca.

O *Chand Baori* é aqui tido como uma obra exemplar, por se tratar de uma estrutura milenar que surgiu da necessidade humana em se adaptar às adversidades do clima. Na realidade climática atual, os períodos de seca intensificam-se e estendem-se por períodos de tempo mais longos em algumas regiões do globo, é por isso importante inspirarmo-nos em técnicas do passado e adaptá-las à realidade urbana atual (Singh 2016; Black, 2019).

CASO DE ESTUDO: AVENIDAS GAGO COUTINHO E ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, LISBOA

O caso de estudo insere-se na área envolvente ao cruzamento entre as avenidas Almirante Gago Coutinho e Estados Unidos da América (EUA). O processo de escolha do local envolveu a consulta e o estudo de vários documentos. O Plano Diretor Municipal (PDM) da Câmara Municipal de Lisboa (CML) em vigor desde 2012, é constituído por um conjunto de elementos que se verificaram ser muito úteis na decisão do local a estudar. As Plantas de Ordenamento dos elementos constituintes do PDM em vigor, são: “Qualificação do Espaço Público”, “Estrutura Ecológica Municipal”, “Sistema de Vistas”, “Riscos Naturais e Antrópicos I”, “Riscos Naturais e Antrópicos II”, “Condicionantes de Infraestruturas”, “Acessibilidade e Transportes”. Através da “Carta de Riscos Naturais e Antrópicos I” (anexo 11), elaborada pelo Instituto Geográfico Português (IGP) e atualizada em 2011, é possível consultar as áreas da cidade vulneráveis a inundações, segundo três níveis – moderada, elevada e muito elevada. Foi através dessa informação que se tomou o primeiro passo na escolha do local, pois é prioritário resolver as situações cuja vulnerabilidade seja muito elevada. Após uma rápida análise é possível verificar uma maior vulnerabilidade nas margens da cidade com o rio Tejo, com algumas situações pontuais no interior da malha urbana, como são os casos em Entrecampos, na Estrada de Benfica, na praça do Chile e no cruzamento entre as avenidas Gago Coutinho e Estados Unidos.

De acordo com o relatório do Plano Geral de Drenagem de Lisboa 2016-2030 (2015), deve-se promover a separação das águas pluviais das domésticas, sendo ideal a condução das águas pluviais para soluções de controlo na origem, ou seja, *“um conjunto de técnicas de controlo local, a montante da rede, que permite a redução dos caudais de ponta e dos volumes de águas pluviais afluentes aos coletores, essencialmente através de processos de retenção, de infiltração ou da combinação de ambos”*. Embora a separação das águas seja obrigatória na construção e reabilitação de urbanizações, a drenagem da grande maioria da cidade ainda é assegurada por coletores unitários, pelo que justifica a implementação de soluções de controlo na origem. Nesta linha de raciocínio, a escolha do local orientou-se para as quatro situações mais vulneráveis no interior da cidade (a montante), indicadas anteriormente, de modo a que a aplicação destas soluções seja o mais eficiente possível, uma vez que irá aliviar os caudais dos coletores nas zonas baixas da cidade, a jusante.

Para as soluções de controlo na origem serem implementadas com sucesso, a permeabilidade do solo e o carácter poroso da litologia têm de ser garantidos para uma infiltração eficiente das águas pluviais. O facto de se tratar de meio urbano acrescenta inúmeros obstáculos a ter em conta, como a impermeabilização e compactação dos solos; as construções em profundidade, como garagens, caves, fundações dos edifícios ou as infraestruturas da rede de metro, por exemplo; as redes subterrâneas de abastecimento, como cabos de alimentação elétrica e telecomunicações, tubagens de abastecimento de água e gás natural, ou canalizações de saneamento; ou qualquer outro obstáculo impermeável construído a uma cota inferior à do piso térreo que impeça a infiltração das águas pluviais. De acordo com a Planta de Ordenamento referente às Condicionantes de Infraestruturas, elaborada pelo IGP, conclui-se que algumas das quatro zonas críticas indicadas acima não apresentam disponibilidade para a implementação deste tipo de soluções. A praça do Chile, e a sua envolvente ao longo da avenida Almirante Reis, insere-se numa área extremamente construída, onde o espaço público e as infraestruturas subterrâneas, incluindo a linha do metro, estão confinados a um espaço muito reduzido o que inviabiliza este tipo de intervenções.

As soluções de controlo na origem dependem das características dos sistemas biofísicos, pelo que se tornou essencial conhecer de que forma as zonas se inserem na Estrutura Ecológica Municipal¹⁶ (EEM) como também analisar a permeabilidade potencial das diferentes zonas. Segundo a EEM, as outras três zonas estão inseridas em sistema húmido, revelando a importância da infiltração das águas nestes locais. De seguida, estudou-se a permeabilidade potencial que *“constitui um importante elemento de caracterização biofísica, já que permite identificar as áreas (...) que apresentam maior capacidade para a infiltração das águas de precipitação possibilitando a diminuição do escoamento superficial (...), a recarga dos aquíferos e o aumento das reservas de água doce”* (Abreu et al. 2007, p. 153). A capacidade de infiltração no solo é influenciada pelo declive e pela permeabilidade do solo e do substrato geológico. Para tal consultou-se o Relatório Síntese da Caracterização Biofísica de Lisboa, no âmbito da Revisão do PDM em vigor, onde constam a Carta de Tipo de Solos, a Carta Geológica, a Carta de

¹⁶ A Estrutura Ecológica Municipal é um dos constituintes do PDM, e apresenta-se como uma estrutura complexa que integra *“as áreas cuja utilização pela atividades humanas deve obedecer prioritariamente às exigências da sustentabilidade ecológica da Paisagem”* (Abreu e Magalhães 2007, 84). Esta carta é composta pela Estrutura Ecológica Fundamental (EEF), que integra os: sistema húmido, sistema corredores estruturantes e sistema transição fluvial estuarino; e pela Estrutura Ecológica Integrada (EEI), onde estão inseridos os: espaços verdes, espaços verdes de enquadramento a áreas edificadas e logradouros verdes permeáveis a preservar. À parte destas subestruturas, a EEM inclui ainda as bacias de retenção/infiltração pluvial e os eixos arborizados.

Declives e a Carta da Permeabilidade. Consequentemente verificou-se que estas três zonas estão inseridas em terrenos com declives inferiores a 5% e sobre solos aluvionares e formações geológicas aluviões o que justifica a alta permeabilidade apresentada pela Carta de Permeabilidade. Este resultado foi também confirmado pelo trabalho desenvolvido por Maria Luísa Franco (2011), onde acrescenta ainda que as três zonas estão inseridas sobre áreas de máxima infiltração.

Após esta análise, verifica-se que estas três zonas são muito idênticas entre si, relativamente aos parâmetros biofísicos. O fator decisivo na seleção do local em estudo entre as avenidas Gago Coutinho e EUA foi o facto do cruzamento estar inserido numa pequena bacia endorreica¹⁷, o que conduz este local à natural tendência para desencadear situações de inundação. Um fator não determinante que suporta esta escolha é a possibilidade de um maior constrangimento de infraestruturas subterrâneas em Entrecampos e na Estrada de Benfica.

A fim de delimitar a área de intervenção, foi necessário conhecer a origem do problema no cruzamento em estudo. Para tal, consultou-se o Regimento de Sapadores Bombeiros (RSB) de Lisboa de modo a aceder e interpretar os registos das ocorrências em espaço público, sendo a ocorrência mais antiga datada de dezembro de 2010¹⁸, uma vez que o método de registo das ocorrências foi atualizado no decorrer desse ano. As ocorrências que foram disponibilizadas tiveram de ser processadas de forma a obter uma amostra composta pelas que, de facto, verificaram ser uma ocorrência real e assistida pelo RSB. A partir da análise desta amostra, foi evidente que a origem do problema reside num sistema de drenagem deficiente, no que toca a eventos de regime torrencial. Desta forma, e uma vez que não se verificou sobrecarga no troço principal, os limites da área de estudo vão coincidir com os da sub-bacia hidrográfica a montante da zona crítica. Tendo em foco a implementação de soluções de controlo na origem, deu-se prioridade aos eixos rodoviários principais que escoam diretamente para o cruzamento. Estes são os responsáveis pela maioria do escoamento desorganizado que desencadeia as inundações e são simultaneamente onde estão associadas as maiores áreas de espaço público, quer por passeios largos ou logradouros entre edifícios. Dito isto, a área de intervenção (figura iv.1) foi delimitada pelos pontos de cotas mais elevadas da avenida Gago Coutinho, desde a praça do Aeroporto (mais conhecida como rotunda do relógio) à sobreposição com a linha de comboio e o excerto da avenida EUA, entre os cruzamentos com as avenidas de Roma e Gago Coutinho. A avenida Marechal António de Spínola não foi incluída uma vez que esta via não tem espaços públicos associados.

O intuito deste trabalho é apresentar um conjunto de soluções que diminuam a vulnerabilidade desta zona a inundações urbanas, e que essas soluções sejam concordantes com o Manual do Espaço Público, concebido pela CML. Posteriormente à fase de análise do local, serão abordadas as limitações impostas por este manual sobre o desenho do espaço público, para se proceder à proposta de soluções para o local em estudo.

¹⁷ Um tipo de bacia fechada, sem drenagem natural para o oceano, dando origem, na maioria dos casos, a lagos chamados de “terminais”, uma vez que o equilíbrio dessa massa de água depender de evaporação e infiltração, como outputs. (UNEP, 2000)

¹⁸ Embora existam registos de ocorrências mais antigas, apenas em 2009 se deu início à divisão das ocorrências de espaço público e de espaço privado, sendo que, por questões de privacidade, apenas puderam ser facultados os registos das ocorrências em espaço público. Segundo os dados fornecidos dos últimos dez anos, conclui-se que ocorrem, em média, mais de uma inundação por ano, no entanto, há que notar a ausência de ocorrências em alguns anos e o registo de múltiplas noutros.



Figura iv.1 – Localização da área onde se insere o caso de estudo. [Fonte: desenho do autor]

4.1 Caracterização da área

4.1.1 Enquadramento geográfico e geomorfológico

Lisboa apresenta uma rede hidrográfica complexa. A área em estudo situa-se na extremidade do planalto de Lisboa inserida na bacia hidrográfica de Chelas (figura iv.2). Esta bacia engloba as águas de parte de Carnide, Lumiar, Campo Grande, Alvalade, São João de Brito, Marvila, Alto do Pina, São João e Beato. O facto do cruzamento se localizar em situação de planalto traduz-se numa situação de vale ainda pouco encaixado.

Lisboa está igualmente assente sobre uma situação geográfica muito complexa; o centro histórico desenvolveu-se ao longo das cinco colinas, junto ao rio, tendo-se expandido mais tarde para o planalto, a Norte. Esta zona planáltica apresenta “um relevo ondulante pouco pronunciado (com cotas entre os 80 e os 110 m) onde se destaca uma ampla bacia endorreica” (CML, 2015, p.23) o que, por sua vez, dificulta o processo de drenagem das águas

pluviais. Por este motivo, esta parte da cidade, está especialmente dependente da rede de esgotos para assegurar a boa drenagem, pelo que, aumenta a suscetibilidade a inundações na ocorrência de eventos de precipitação extrema (CML, 2015). O ponto de cota mais elevada da bacia em estudo regista valores de, aproximadamente, 102 metros de altitude na Alta de Lisboa, sendo o ponto de cota mais baixa localizado a jusante do Vale de Chelas, já na plataforma de aterro. Relativamente aos declives (anexo 12), existem duas morfologias bem distintas: as terras mais altas da bacia, ou seja, o Areeiro e parte do bairro de Alvalade, e a zona de aterro a jusante, onde o relevo se revela aplanado e regular; e o interstício entre estas duas zonas que se trata do Vale de Chelas, notório por declives acentuados. Uma situação particular é a avenida Almirante Gago Coutinho, que está inserida num vale contido entre o limite Este do bairro de Alvalade, com vertentes de declive acentuado, e a vertente Oeste da formação onde está situado o Parque da Bela Vista, também de declive acentuado. As avenidas Gago Coutinho e Estados Unidos da América situam-se na classe de declives <5%.

4.1.2 Enquadramento do sistema de drenagem

O caso de estudo situa-se na cidade de Lisboa, e está inserido no sistema de drenagem de Chelas, denominada por bacia O – Campo Grande-Chelas (figura iv.2). Os limites da bacia são os que constam no relatório do Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL) (Leboeuf et al. 2015). Na totalidade, a rede de drenagem desta bacia abrange os bairros de Charneca, Ameixoeira, Lumiar, Campo Grande e da maior parte de Alvalade, terminando em Xabregas após receber as águas do Vale de Chelas. De acordo com o relatório do PGDL, a bacia O é a segunda maior da cidade, com cerca de 18 km² de área.

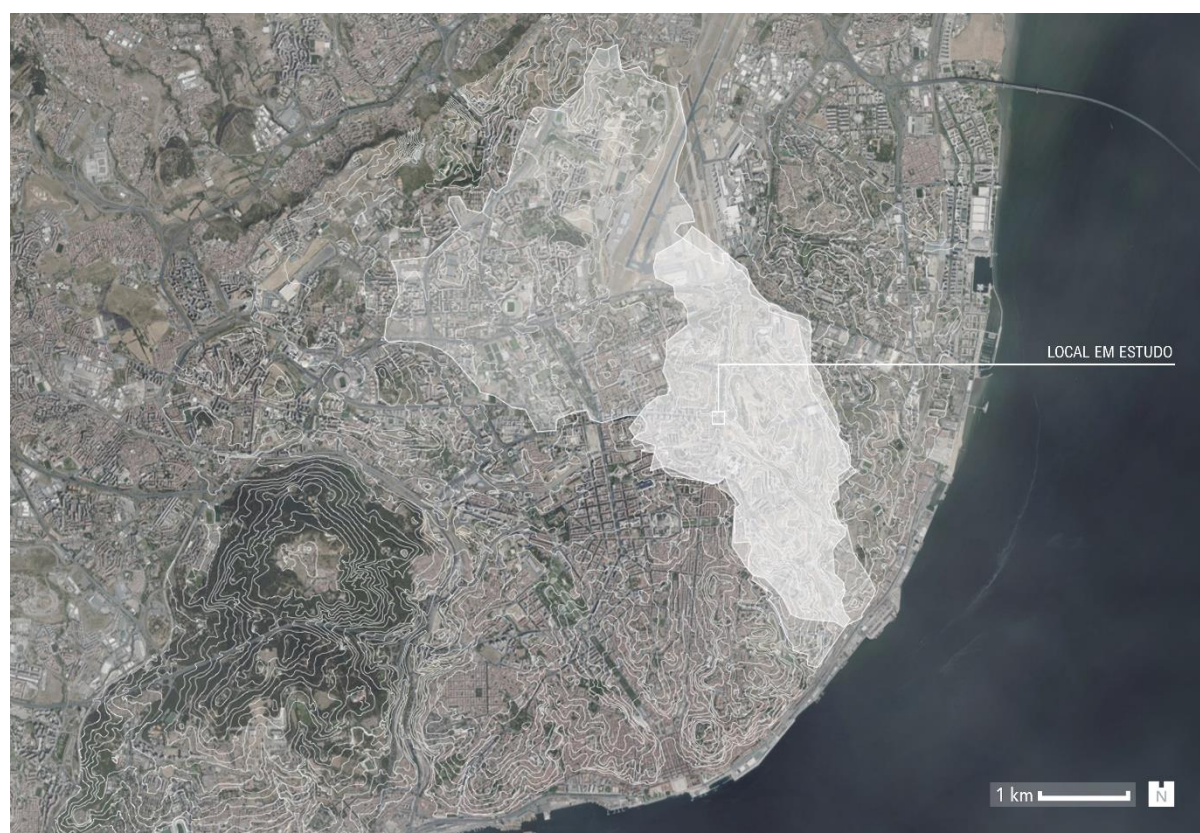


Figura iv.2 – Sobreposição das bacias hidrográficas de drenagem (bacia O), na Cidade de Lisboa. A bacia hidrográfica apresenta uma área nitidamente menor que a bacia de drenagem. [Fonte: desenho do autor]

Uma bacia de drenagem corresponde à área urbana cujas águas são drenadas pela mesma rede de drenagem principal. Este tipo de bacia distingue-se de uma bacia hidrográfica, pelo facto dos seus limites não serem definidos pelos talvegues, uma vez que a rede de drenagem desta bacia recolhe águas da bacia hidrográfica adjacente. Nos últimos 25 anos do século passado, a bacia em estudo sofreu um aumento do seu tamanho, ao construir-se o túnel Campo Grande-Chelas, de modo a desviar (e assim aliviar) parte do caudal da bacia de Alcântara (bacia *E*), a maior bacia de drenagem do concelho. Esta intervenção resultou num acréscimo, de cerca de 1000 ha, à área da bacia *O*, cujo coletor principal atravessa o cruzamento em estudo abaixo do solo (Leboeuf *et al.* 2015).

4.1.3 Enquadramento climático

Segundo as normais climáticas do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), Lisboa está sob influência do regime climático *Csa*, segundo a classificação *Köppen*, que se traduz num clima temperado com inverno chuvoso e verão quente e seco. A normal climática de 30 anos (1971-2000) publicada pelo Portal do Clima (IPMA, 2018) indica para a região metropolitana de Lisboa, um máximo de precipitação para o mês de dezembro com 112.2 mm e um mínimo para o mês de julho com 3.9 mm (gráfico iv.1). Relativamente aos períodos de seca, e segundo o índice de seca (SPI¹⁹) usado neste estudo, a tendência da região em estudo é evoluir para um estado de seca fraca, quando nos referimos aos cenários das escalas de tempo de seis e nove meses.

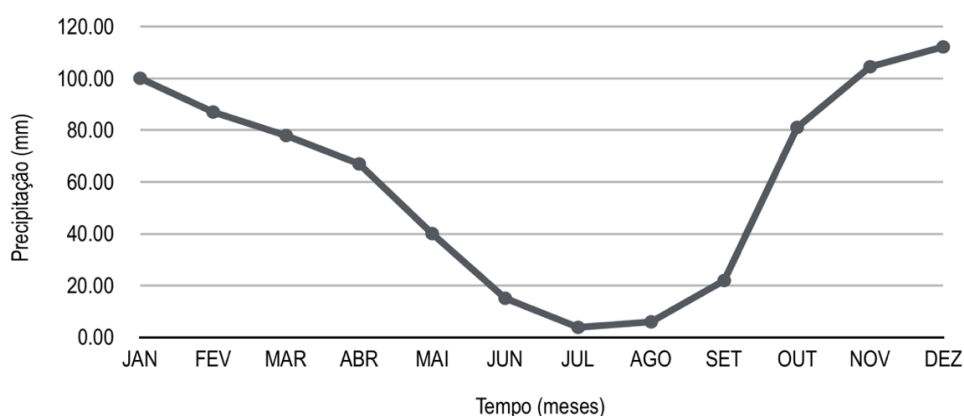










Gráfico iv.1 – Volume médio mensal de precipitação (em milímetros) para a região de Lisboa. Note-se que os valores entre setembro e outubro representam o mais alto ao longo. [Fonte: IMPA, 2019]

A projeção climática para o futuro da cidade de Lisboa é incerta. De uma forma resumida, as projeções climáticas que apresentam maior consenso estão na tabela seguinte (iv.1).

Como referido anteriormente, existe concordância relativamente à previsão dos eventos de precipitação extrema virem a ser no futuro mais intensos e frequentes com o aumento da temperatura do ar. Contudo, existem duas vertentes para as projeções que dizem respeito à precipitação média anual, a maioria da bibliografia consultada (inclusivamente o IPCC) prevê a diminuição desses valores, no entanto, novos estudos indicam que para a região da Península Ibérica a precipitação média anual irá aumentar (Scaife *et al.*, 2012).

¹⁹ SPI – *Standardized Precipitation Index* (Índice Estandarizado de Precipitação) é o método usado para caracterizar seca meteorológica em diferentes escalas de tempo. (World Meteorological Organization, 2012)

Tabela iv.1 – Resumo das principais projeções climáticas para a cidade de Lisboa, até ao final do século. [Fonte: CML, 2017]

Variável climática	Sumário	Alterações projetadas
	 Diminuição da precipitação média anual	Média anual Diminuição da precipitação média anual, sendo mais acentuada no final do séc. XXI, e podendo variar entre 4% e 51% nesse período. Precipitação sazonal Nos meses de inverno não se verifica uma tendência clara (podendo variar entre -40% e +6%), projetando-se uma diminuição no resto do ano, que pode variar entre 9% e 66% na primavera e entre 6% e 50% no outono. Secas mais frequentes e intensas Diminuição do número de dias com precipitação, entre 11 e 35 dias por ano. Aumento da frequência e intensidade das secas no sul da Europa [IPCC, 2013].
	 Aumento da temperatura média anual, em especial das máximas	Média anual e sazonal Subida da temperatura média anual, entre 1°C e 4°C, no final do século. Aumento acentuado das temperaturas máximas no outono (entre 2°C e 5°C). Dias muito quentes Aumento do número de dias com temperaturas muito altas ($\geq 35^{\circ}\text{C}$), e de noites tropicais, com temperaturas mínimas $\geq 20^{\circ}\text{C}$. Ondas de calor Ondas de calor mais frequentes.
	 Subida do nível médio da água do mar	Média Aumento do nível médio do mar entre 0,17m e 0,38m para 2050, e entre 0,26m e 0,82m até ao final do séc. XXI (projeções globais) [IPCC, 2013]. Há estudos que projetam um aumento até 1,10m em 2100 no cenário mais extremo (projeções globais) [Jevrejeva et al, 2012]. Eventos extremos Subida do nível médio do mar com impactos mais graves, quando conjugada com a sobrelevação do nível do mar associada a tempestades (<i>storm surge</i>) (projeções globais) [IPCC, 2013].
	 Aumento dos fenómenos extremos de precipitação	Fenómenos extremos Aumento dos fenómenos extremos, em particular de precipitação intensa ou muito intensa [Soares et al, 2015]. Tempestades de inverno mais intensas, acompanhadas de chuva e vento forte (projeções globais) [IPCC, 2013].

4.2 Diagnóstico geral da área de estudo

4.2.1 Sistema de drenagem atual e histórico de inundações

Prevenir os episódios de inundações tem sido um dos principais focos de trabalho dos últimos Planos Gerais de Drenagem. Os arquitetos paisagistas Gonçalo Ribeiro Teles e Manuela Raposo Magalhães desenvolveram um estudo nos anos 90, que resultou no Plano Verde de Lisboa em 1994, que defende a importância da paisagem natural que caracteriza a cidade, suportando mais tarde a formação da EEM. Segundo o relatório do PGDL, a rede de drenagem da bacia O apresenta a maior percentagem de segmentos separativos das restantes bacias da cidade (20% domésticos, 50% pluviais e 30% unitários). No entanto todos estes segmentos separativos drenam para coletores de águas combinadas.

De modo a fundamentar a pertinência desta intervenção foi crucial obter registos relativos ao número e à frequência de inundações neste local. Para tal, contactou-se o Regimento de Sapadores Bombeiros (RSB) a requisitar uma lista com o número de ocorrências de inundações em espaço público relativos à área em estudo. A tabela em anexo (anexo 13) apresenta os registos fornecidos. Foi necessário processar os dados para uma inter-

pretação mais fidedigna, pois note-se que uma ocorrência não se traduz numa inundação, mas num pedido de ajuda direccionado ao RSB, pelo que alguns dos dados não se revelavam relevantes para o caso de estudo. Tenham-se por exemplo, ocorrências que tenham sido provadas pela rotura de canalizações ou ocorrências cujo impacte tenha sido de pequenas dimensões. Foi por isso crucial conhecer a informação relatada na coluna da descrição, para melhor visualizar os detalhes da situação recolhidos pelos profissionais. Através destes dados, mais propriamente a descrição associada a cada ocorrência, foi possível determinar a frequência anual de inundações no local em estudo como obter uma impressão geral da causa do problema, pelo que se verificou ser determinante para a delimitação da área a intervir. Relativamente à frequência de inundações neste local, concluiu-se que em média dão-se duas inundações por ano²⁰, aproximadamente. Quanto à delimitação da área a estudar, a descrição das ocorrências foi útil para determinar a origem do problema, que influencia diretamente na delimitação da bacia. Tenha-se a eventualidade de haver registo de saída de águas do coletor principal, por excesso de pressão, para a via pública. Isto informa que o problema adquire uma dimensão equivalente à bacia de drenagem a montante, pelo que conduzia a estratégia a assumir essa escala. O facto de não ter sido relatado nenhum sinal de pressão excessiva no coletor principal, limita a área para uma escala equivalente à da sub-bacia do cruzamento. A figura iv.3 ilustra a dimensão de uma inundação neste cruzamento.



Figura iv.3 – Fotografia do local em estudo durante um episódio de inundação, após um evento torrencial, no dia 11 de novembro, de 2018. [Fonte: Fotografia de autor desconhecido]

4.2.2 Análise crítica dos problemas e potencialidades

A fase de análise teve início logo após se verificar que o coletor principal da rede de drenagem interceptava o local em estudo juntamente com o facto da bacia de drenagem apresentar dimensões muito superiores às da bacia hidrográfica, tendo-se colocado a questão de quantas das inundações verificadas no cruzamento estudado não

²⁰ Lê-se na tabela em anexo (5) os valores desde 2010 até 2018: em 2010 registou-se uma ocorrência; em 2011, três; em 2012, zero; em 2013, 2014 e 2015, registou-se uma anualmente, em 2016 registaram-se cinco, em 2017 nenhuma ocorrência foi registada e, por fim, em 2018 foram registadas três.

terão sido provocadas por sobrecarga do coletor principal. Esta questão foi abordada no início deste capítulo no âmbito da delimitação da área de intervenção, porém será desenvolvida nesta fase de análise. A resposta foi crucial para a fase de projeto, pois caso tivesse sido verificada sobrecarga do sistema de drenagem, a área de intervenção seria toda a área da bacia de drenagem a montante do cruzamento.

A análise da área de intervenção permite conhecer quais os fatores condicionantes e quais os potenciadores visando a implementação das medidas de gestão de água pluvial.

Os desenhos de ambas as avenidas diferem em certos aspetos, nomeadamente no que diz respeito ao espaço público. Desta forma, a proposta organiza-se sob a forma de tipologias genéricas para diferentes tipos de espaços urbanos, inseridas nas avenidas que compõem a área em estudo. É por isso importante realçar uma vez mais que um dos objetivos deste projeto é apresentar um conjunto de estratégias concretas para situações reais carentes de adaptação a um regime hídrico mais intenso, a fim de complementar o trabalho já desenvolvido nesta área, embora carecido da fase projetual preparado para o espaço público.

O primeiro ponto a notar é o facto das avenidas serem consideradas vias de grandes dimensões (três faixas para cada sentido) o que justifica a presença dos corredores centrais ajardinados. No entanto, nenhuma das avenidas drena para o interior, mas sim para as extremidades, o que inviabiliza o aproveitamento destes corredores para reter ou infiltrar águas pluviais. Desta forma a estratégia é conduzida a implementar as tipologias nas extremidades das avenidas, sendo que na Estados Unidos da América as laterais são compostas por passeio e alinhamentos de estacionamento, enquanto que na Almirante Gago Coutinho as laterais são apenas compostas por passeio. Isto remete-nos para outro problema que consiste na pouca disponibilidade de espaço livre, principalmente ao longo da Av. Gago Coutinho, onde o passeio é usado praticamente na sua totalidade para o estacionamento de automóveis, deixando muitas vezes pouco ou nenhum espaço para a circulação pedonal. Atender a esta realidade no desenho das propostas é provavelmente um dos maiores desafios deste projeto, pois não se pretende alterar a dinâmica nem a vivência do espaço.

Ao estudar o sistema de drenagem atual surgiram algumas dúvidas de como este está organizado. Por exemplo, na Gago Coutinho, as distâncias entre os sumidouros não são constantes, as caixas de visita são pouco frequentes e com localização irregular. A avenida EUA apresenta igualmente alguns sinais de uma drenagem deficiente, uma vez ser frequente encontrar lugares de estacionamento cuja inclinação segue no sentido do passeio, porém os sumidouros estão localizados no limite entre a estrada e o estacionamento e nenhum nas cotas mais baixas do estacionamento em si. É também importante reportar que a drenagem das coberturas de alguns prédios residenciais desta avenida é efetuada diretamente para o passeio (figura iv.4) em vez de ser injetada no sistema, contribuindo para o caudal desorganizado de superfície, bem como para a consequente degradação do passeio (figura iv.5) e agravando ainda a situação a jusante, uma vez que a drenagem das águas pluviais provenientes da estrada não é totalmente eficiente ao longo da avenida. Estas soluções irão acolher estas águas, combatendo a degradação do espaço público e prevenindo que este caudal contribua na sobrecarga dos coletores.

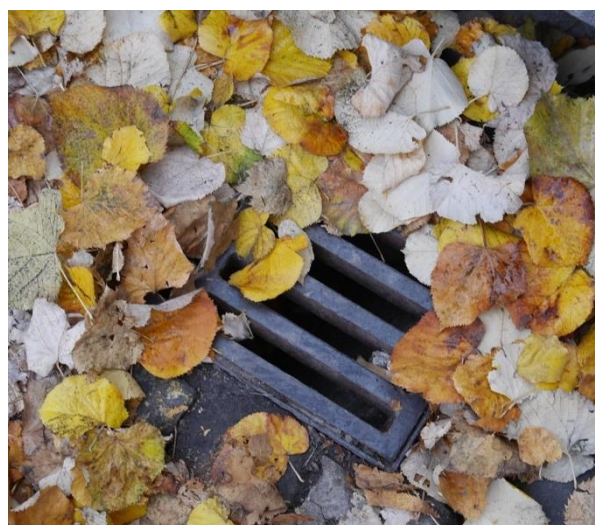


Figura iv.4 – Drenagem do escoamento das coberturas efetuada para a via pública.
[Fonte: Fotografias do autor]



Figura iv.5 – Estado da degradação da via pública provocada pelo escoamento desorganizado, em parte proveniente das coberturas. [Fonte: Fotografias do autor]

É de notar, como descrito nos dados fornecidos pelo RSB, que um problema muito comum ao longo da avenida Gago Coutinho e no cruzamento em estudo é a acumulação de folhas, detritos (areia e pedras) e lixo nos sumidouros e nas sarjetas, impedindo o escoamento organizado das águas pluviais, visível nas figuras iv.6. Este problema torna-se num fator que contribui para a adoção de medidas adaptadas aos processos naturais, uma vez que a queda das folhas das copas das árvores, nesta avenida, é um acontecimento de carácter anual.



Figuras iv.6 – Sargetas e sumidouros na avenida Gago Coutinho carentes de manutenção. À esquerda, uma sargeta entupida com lixo e à direita um sumidouro coberto por folhas. Ambos os dispositivos estão incapazes de cumprir as suas funções de drenagem eficientemente. [Fonte: Fotografias do autor]

PROJETOS DE GESTÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM DIFERENTES TIPOLOGIA DE ESPAÇO PÚBLICO DE LISBOA

5.1 Objetivos e Metodologia

O presente projeto apresenta soluções para diminuir a vulnerabilidade a inundações em espaço urbano, através da implementação de medidas de gestão sustentável de águas pluviais em tipologias de espaço público. A proposta deste trabalho baseou-se no tipo de soluções de controlo na origem, que interceptam, retêm e/ou infiltram as águas pluviais antes que estas entrem no sistema convencional. Deste tipo de estratégias, as *green stormwater infra-structures* gerem as águas da chuva de forma sustentável, contribuindo positivamente para uma cidade mais resiliente às alterações climáticas. O desenho do projeto apoiou-se no Manual do Espaço Público da Câmara Municipal de Lisboa de modo a compatibilizar estas tipologias com outras zonas da cidade.

Como justificado no capítulo anterior, o caso de estudo foca-se nas avenidas Almirante Gago Coutinho e EUA, que apresentam máxima vulnerabilidade a inundações urbanas. De forma a diminuir a vulnerabilidade a eventos desta natureza, as soluções localizam-se ao longo das duas avenidas que formam o cruzamento, de modo a resolver o problema a montante da área crítica, de acordo com o conceito das soluções de controlo na origem. Os locais onde se propõe inserir estas soluções são, por si só, tipologias de espaços: passeios, cruzamentos e logradouros.

Com as soluções aqui apresentadas pretende-se receber, tratar e infiltrar, em zonas verdes permeáveis, as águas pluviais duma determinada área impermeável. Para isso, foi aplicada uma metodologia, desenvolvida pela *NYC Environmental Protection* (2014), para dimensionar jardins de chuva. Estes jardins têm a particularidade de incorporar “caixas” drenantes, que se desenvolvem em profundidade, preenchidas com inertes altamente permeáveis, de modo a aumentar a capacidade de retenção desse jardim. Para calcular as dimensões destas estruturas é necessário conhecer os seguintes aspetos:

- × O volume de água a reter, que se calcula através da área total de superfície impermeável e do valor de pluviosidade mais adequado para o clima da região. No que toca à superfície impermeável, a sua área terá de ser medida localmente ou estimada individualmente para cada tipologia e, relativamente à pluviosidade, têm-se os primeiros 25 mm de precipitação visto ser o valor mais eficiente para a cidade de Lisboa, resultando na redução de cerca de 80% das inundações urbanas, de acordo com Matos Silva (2016).
- × O volume de água retido, que resulta da soma do volume de água que o solo existente consegue reservar com o volume de armazenamento nas “caixas”, em função da porosidade dos respetivos materiais. Caso se desconheça, esta metodologia sugere que se use 0,508 cm/h para a velocidade de infiltração do solo existente, durante um período de 8h. De modo a calcular o volume de armazenamento das caixas, a metodologia oferece igualmente classes de valores de porosidades de alguns dos materiais possíveis: terra vegetal 15-25%, grilha 33-50%, betão permeável 33-50%, entre outros. Conhecendo os valores da porosidade de cada material usado na caixa de retenção pluvial, é possível proceder ao dimensionamento das respetivas caixas, tendo em foco o volume de armazenamento resultante.

Para que esta estratégia seja bem-sucedida, as medidas de gestão pluvial e as respetivas caixas de armazenamento de água, devem ser dimensionados para conseguir receber, no mínimo, a totalidade do volume de escoamento

superficial inicialmente calculado para os valores pluviométricos estipulados. As tipologias que promovem a infiltração das águas da chuva, foram calculadas usando gravilha na caixa mais profunda e terra vegetal na caixa de superfície. A separação entre as caixas é assegurada com o recurso a uma tela *geotêxtil* que vai impedir a percolação dos finos para a camada inferior, garantindo a sua função.

5.2 Vegetação proposta

A escolha da vegetação foi feita com base num conjunto de requisitos para o sucesso do projeto a médio-longo prazo, tendo em conta a manutenção e a eficiência da filtragem das águas. Assim, para este projeto utilizou-se vegetação ripícola optando, sempre que possível, por flora autóctone e com propriedades fito-remediadoras. Está previsto estes espaços inundarem temporariamente, pelo que a resistência ao alagamento é uma característica fulcral na escolha das espécies, da mesma forma que devem resistir a períodos quentes e secos no verão. Desta forma, a vegetação escolhida foram as seguintes espécies:

- × para árvores, *Populus nigra* 'italica' (L.) e *Fraxinus angustifolia* (Vahl);
- × para arbustos, *Pistacia lentiscus* (L.) e *Nerium oleander* (L.);
- × e para herbáceas, *Cyperus alternifolius* (L.), *Iris pseudacorus* (L.), *Juncus* spp., *Phragmites australis* (Cav.), *Scrophularia canina* (L.) e *Typha latifolia* (L.).

As espécies *Populus nigra* e *Fraxinus angustifolia* (figuras v.1 e v.2) são árvores autóctones e caducifólias, cujo habitat é nas margens ribeirinhas. A variedade *Populus nigra* 'italica' (que já é resultado de modificação pelo homem, e por isso já não é autóctone) pode atingir 30 m em altura e a sua copa é longa estreita, com compasso de plantação a rondar os 5 ou 6 metros (UTAD, 2019a). É de referir que é uma espécie que apresenta sinais de propriedades fito-remediadoras (Chappell, 1998). O freixo (nome comum de *Fraxinus angustifolia*), atinge 20 m em altura (excecionalmente 30), a copa alcança 15 m e é das primeiras árvores a ganhar folhas após o inverno, de cor verde clara, típica desta espécie (UTAD, 2019b). As dimensões da copa do freixo tornam-no mais indicado para situações onde se pretende obter área de sombra, comparativamente à de *Populus nigra* 'italica'.



Figuras v.1 e v.2 – *Populus nigra* italica à esquerda e *Fraxinus angustifolia* à direita.
[Fontes: OnlinePlantGuide.com e Belloch.eu, respetivamente]

As espécies *Pistacia lentiscus* (aroeira) e *Nerium oleander* (loendro) (figuras v.3 e v.4) são arbustos da flora nacional cujo habitat é perto das linhas de água, o que indica resistência à presença de água em abundância. A aroeira, forma uma copa densa semiesférica, podendo atingir os 3 m de altura e diâmetro. O loendro é um arbusto ribeirinho que pode atingir 4 m de altura. Estes arbustos apresentam propriedades fito-remediadoras e são resistente a períodos temporários de alagamento e seca (Bacchetta *et al.*, 2012; Khandare *et al.*, 2017).



Figuras v.3 e v.4 – *Pistacia lentiscus* à esquerda e *Nerium oleander* à direita.
[Fontes: onlineplantguide.com e plantmaster.com, respetivamente]

Todas as herbáceas foram escolhidas por apresentarem propriedades fito-remediadoras ou resistência a elevados níveis de poluição (Ahmad *et al.* 2014; Caldelas *et al.*, 2005; Hazra *et al.*, 2015; Leto *et al.*, 2013; Syranidou *et al.*, 2016). As espécies *Cyperus alternifolius* (L.), *Phragmites australis* (Cav.), *Typha latifolia* (L.), *Juncus spp.* e *Iris pseudacorus* (L.) (figuras v.5, v.6, v.7, v.8 e v.9, respetivamente) são adequadas para as áreas a inundar, pois são resistentes à imersão total das raízes temporariamente. A herbácia *Scrophularia canina* (L.) (figura v.10) não é tolerante ao alagamento temporário nem apresenta propriedades fito-remediadoras, no entanto, é resistente a períodos de seca o que a torna apta para as zonas de cota mais elevada das tipologias sem que necessite de um regime de rega muito intenso.



Figuras v.5, v.6 e v.7 – *Cyperus alternifolius*, *Phragmites australis* e *Typha latifolia*, respetivamente.
[Fontes: <http://architecturalplants.com>, www.science.halleyhosting.com e www.plantsrescue.com, respetivamente]



Figuras v.8, v.9 e v.10 – *Juncus spp.*, *Iris pseudacorus* e *Scrophularia canina*, respetivamente.

[Fontes: www.plantright.org, www.pondmegastore.com e www.flora-on.pt, respetivamente]

Note-se que a proposta prevê, para todas as tipologias, a instalação de rega localizada gota-a-gota para garantir o comportamento do material vegetal e proporcionar um aspeto cuidado em todas as intervenções.

5.3 Tipologias

O desenho das propostas teve início no levantamento dos espaços permeáveis existentes: separadores centrais, jardins, logradouros, canteiros, alinhamentos de árvores em caldeira, etc. A metodologia deu prioridade ao aproveitamento destes espaços devido ao ser carácter permeável de modo a possibilitar o encaminhamento das águas pluviais provenientes de superfícies impermeáveis. Para este projeto teve de se adaptar esta metodologia visto cada tipologia ter a sua hemi-bacia respetiva que, pela sua soma, vai corresponder à área total a intervir.

Ao longo da avenida Almirante Gago Coutinho, a principal área verde é o separador central, contudo a totalidade da avenida drena para as laterais, o que impossibilita o aproveitamento deste corredor ajardinado sem que sejam feitas obras de reperfilamento da avenida, que encareceria muito o projeto e requeria um plano complexo adjacente visto tratar-se de um eixo rodoviário integrante do plano municipal de emergência da cidade. Verifica-se, no entanto, que a avenida possui outras áreas passíveis de intervenção, como seja os alinhamentos de árvores inseridas em caldeiras, bem como os dois pequenos jardins situados no cruzamento entre esta avenida e a D. Rodrigo da Cunha, que formam espaços verdes em forma de triângulo. Na avenida EUA, o corredor central segue o mesmo perfil do da avenida Gago Coutinho, o que impossibilita a sua utilização, no entanto, os logradouros a Norte constituem grandes áreas permeáveis que devem ser tidas em consideração. As tipologias foram organizadas da seguinte maneira (figura v.11).

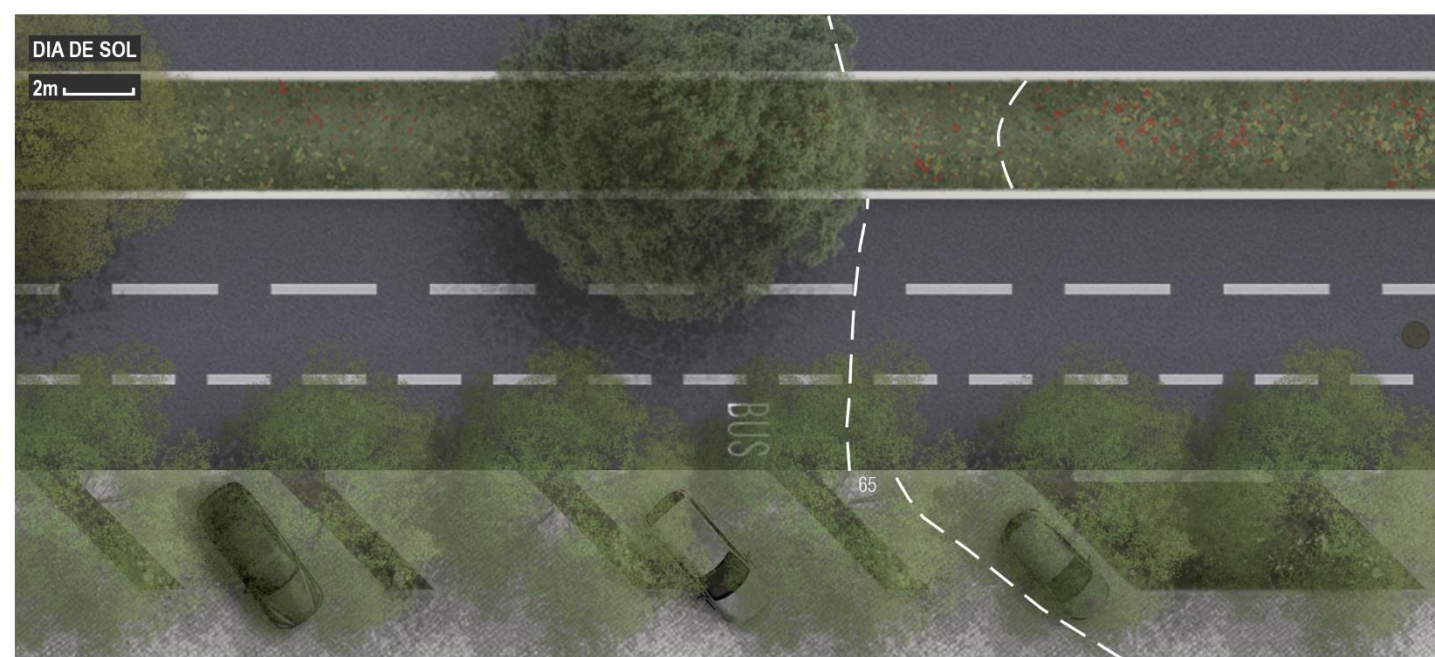
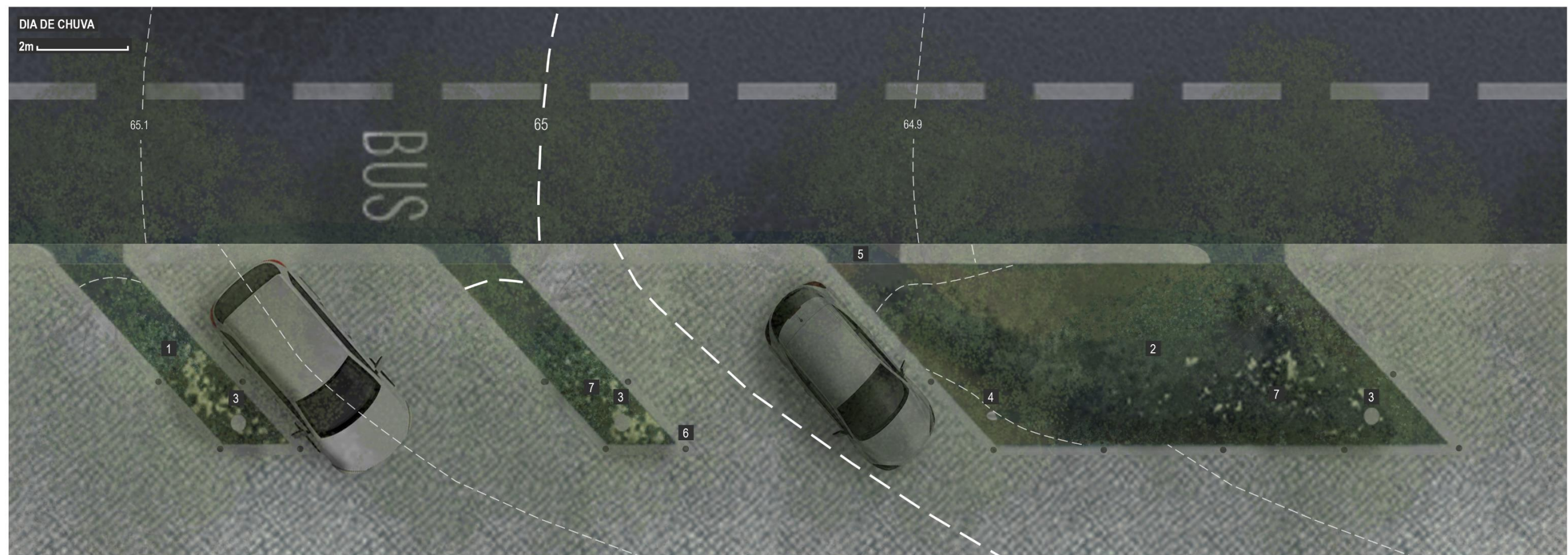


Figuras v.11 – Área de intervenção e localização das tipologias.
[Fonte: desenho ou autor]

Caldeiras de bio-retenção na Av. Gago Coutinho

A primeira tipologia (figura v.12) foi desenhada para receber as águas da avenida Gago Coutinho, tanto da via rodoviária como dos passeios respetivos. Esta solução insere-se nos passeios que atualmente se encontram sufocados por carros estacionados que condicionam o percurso pedonal como a instalação de qualquer tipo de intervenção. Desta forma propõe-se a implementação de poços de infiltração ajardinados, sendo que o seu formato deve ser adaptado e orientado de acordo com a organização do estacionamento atual. Com isto, não se pretende incentivar o uso do passeio para o estacionamento de veículos, mas sim lidar passivamente com este constrangimento. Assim, a localização destas propostas coincide com a localização das caldeiras de árvores já existentes, deste modo as árvores plantadas são incluídas na intervenção e, para as caldeiras que se encontram vazias, a proposta inclui a plantação de árvores adequadas às linhas de água. As caldeiras ao longo da avenida têm, normalmente, 8,50 m de distância entre si, embora existam exceções onde essa distância é superior. A superfície destes poços prolonga-se para o interior do passeio, fazendo um ângulo de 45° de acordo com a orientação do estacionamento em espinha, salvaguardando uma distância mínima de 1,80 m para a passagem de peões na lateral recolhida do passeio, como indicado no Manual do Espaço Público, elaborado pela CML. A superfície do canteiro apresenta uma inclinação para o interior de modo a assegurar o escoamento no sentido longitudinal, onde está instalado um descarregador sobrelevado (a uma cota inferior à da entrada do canteiro) para drenar o volume de água que exceder a capacidade de infiltração desse poço. Desta forma, pretende-se que as águas residuais da estrada entrem no canteiro e sejam encaminhadas no sentido do poço, que está afastado cerca de 2 m do tronco da árvore. A entrada da água na caldeira é efetuada através do lancil que foi adaptado para desviar o escoamento para o canteiro, ilustrado na perspetiva da figura v.13. A superfície à entrada da caldeira é revestida por seixo rolado, para diminuir a velocidade do escoamento e com isso, prevenir a erosão do solo, promover a precipitação dos detritos e facilitar a infiltração da água.

Para proceder aos cálculos optou-se por delimitar uma secção da avenida, de modo a calcular o dimensionamento das caixas para seguidamente extrapolar os resultados para a totalidade da área da avenida (figura v.14). Esta secção contém um excerto de passeio e estrada, estende-se por 50 m de comprimento e engloba um total de seis caldeiras. A proposta evoluiu no sentido de se agrupar em conjuntos de cinco unidades, sendo que a última (a que se situa a cotas mais baixas) ocupa o espaço entre a quinta e a sexta caldeira. Este agrupamento propõe a ligação dos cinco descarregadores, permitindo que o volume excedente das quatro primeiras unidades seja drenado para a última de maiores dimensões. O descarregador da última unidade faz ligação ao coletor principal da rede de drenagem apesar do seu volume ter capacidade para infiltrar as águas da bacia que lhe compete e os volumes excedentes das unidades anteriores. A tabela v.1 apresenta os cálculos efetuados para este conjunto, sendo que se agruparam as quatro primeiras unidades no grupo A e a última unidade no grupo B.



LEGENDA

- 1 CALDEIRA PEQUENA
- 2 CALDEIRA GRANDE
- 3 DESCARREGADOR DE SUPERFÍCIE
- 4 ENTRADA DA ÁGUA EXCEDENTE DAS CALDEIRAS PEQUENAS
- 5 LANCIL REBAIXADO PARA A ENTRADA DAS ÁGUAS
- 6 GUARDA DE PROTEÇÃO
- 7 ÁREA INUNDÁVEL
- CURVAS DE NÍVEL

PLANO GERAL

TIPOLOGIA DE CALDEIRA DE BIORETENÇÃO

LOCALIZAÇÃO:
AV. ALMIRANTE GAGO COUTINHO



ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE MESTRADO EM ARQUITECTURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

01A



2018

Figura v.12 – Plano Geral da tipologia de caldeira de bio-retenção. [Fonte: desenho do autor]



Figura v.13 – Perspetiva da tipologia de caldeira de bio-retenção. Nesta imagem estão representados o lancil rebaixado e o percurso da entrada das águas pluviais de uma forma esquemática. A extremidade do lancil, à cota mais alta, apresenta uma curvatura que facilita a condução da água para o interior da caldeira. A guarda de proteção (mínimo 0,3 m de altura) não foi representada para não dificultar a leitura do desenho. [Fonte: desenho do autor]

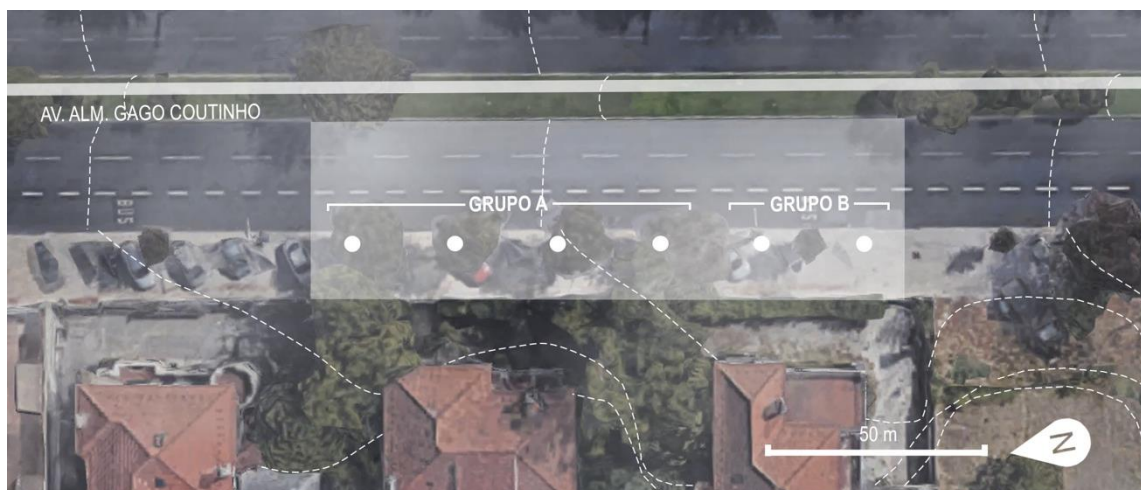


Figura v.14 – Hemi-bacia da tipologia de caldeira e organização dos grupos A e B. [Fonte: desenho do autor]

Tabela v.1 – Cálculos para os volumes (m^3) das diferentes caixas de infiltração para a solução na tipologia de passeio na avenida Gago Coutinho. [Fonte: cálculos do autor, seguindo a metodologia elaborada pela NYC Environmental Protection]

Área de implementação		
Área da hemibacia (m^2)		808,90
Volume de águas residuais (m^3)		20,22
Gestão do volume das águas pluviais		
	Grupo A	Grupo B
Área total (m^2)	31,20	38,78
Geometria das caixas		
Área de instalação (m^2)	18,72	32,78
Volume de instalação (m^3)	14,98	32,78
Dados de infiltração		
Taxa de infiltração (cm/h)		0,508
Período de infiltração (h)		8,00
Volume estimado de infiltração (m^3)		2,09
Camada de solo vegetal		
Profundidade de solo (m)	0,30	0,30
Volume de solo (m^3)	5,62	9,83
Porosidade do solo	0,25	0,25
Capacidade de volume do solo (m^3)	1,40	2,46
Camada de gravilha		
Profundidade de gravilha (m)	0,50	0,70
Volume de gravilha (m^3)	9,36	22,95
Porosidade do gravilha	0,50	0,50
Capacidade de volume de gravilha (m^3)	4,68	11,47
Volume Parcial de Capacidade para Águas Pluviais (m^3)	8,18	16,02
Volume Total Estimando de Capacidade para Águas Pluviais (m^3)	24,20	

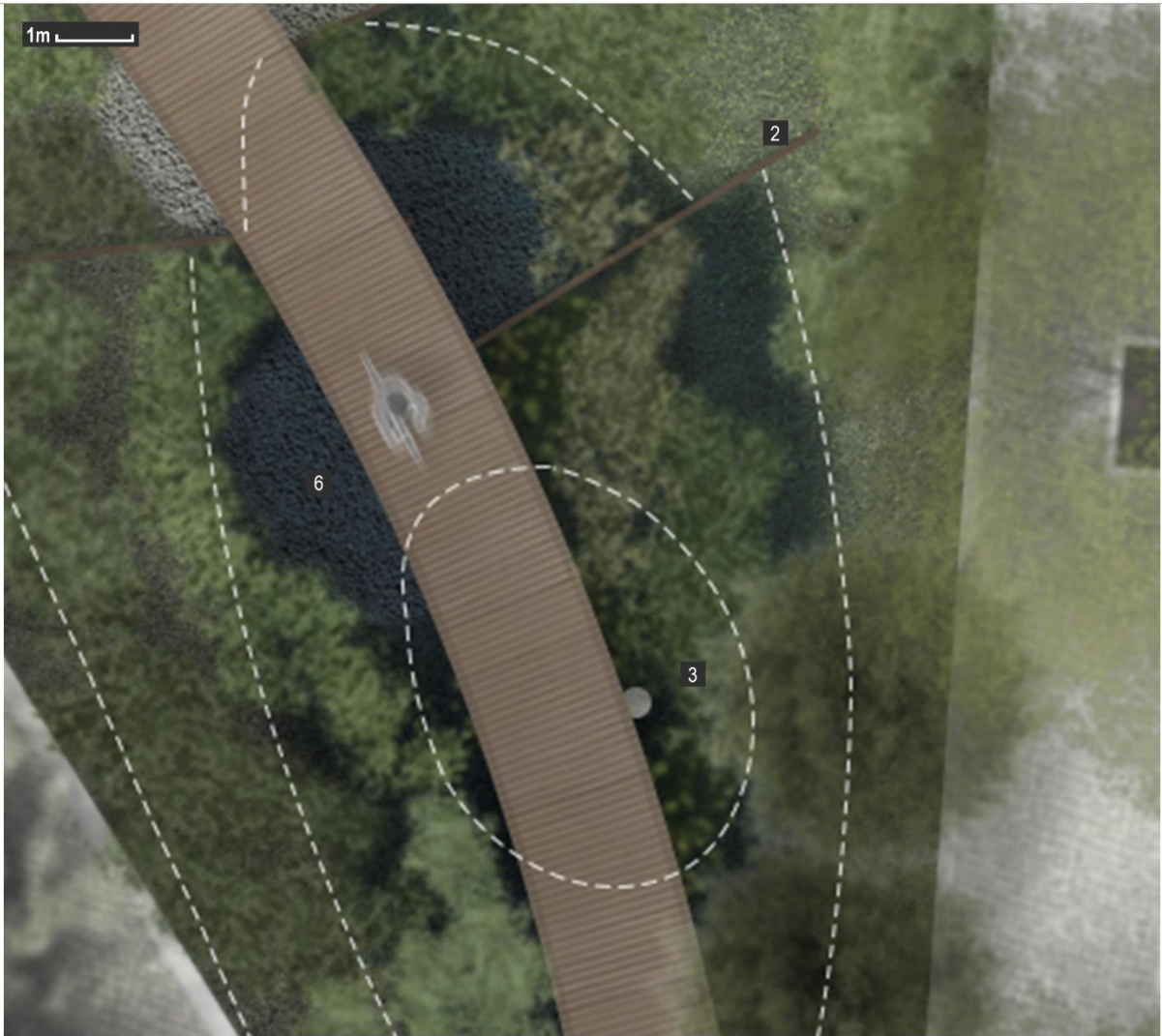
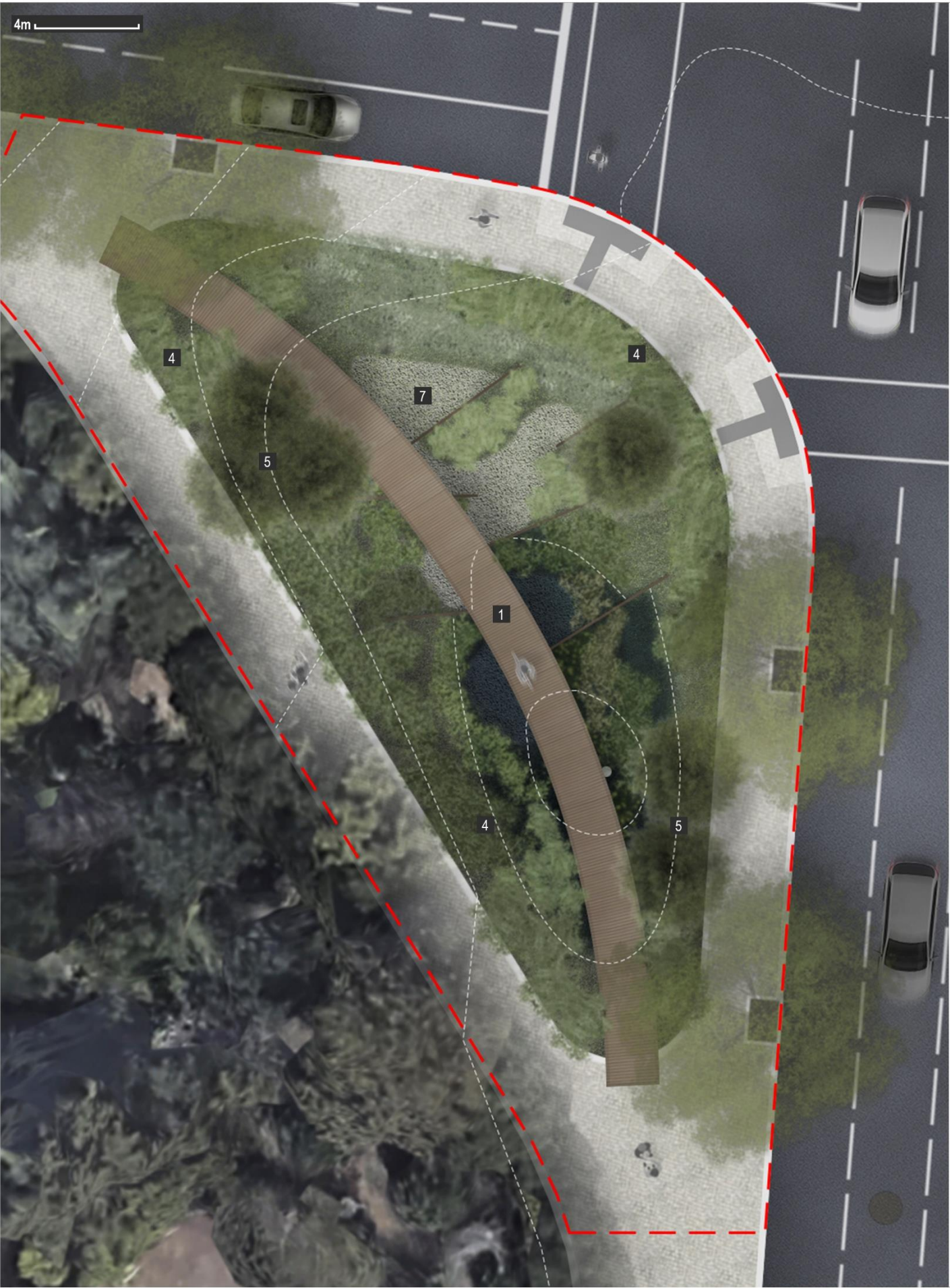
Relativamente à vegetação a plantar nesta tipologia, começa-se por notar que para alinhamento arbóreo numa avenida é mais indicada o uso de *Fraxinus angustifolia* devido à sua copa de maiores dimensões para obter maior área ensombrada. No que toca às espécies de menor porte, é importante esclarecer que o uso dos arbustos *Nerium oleander* e *Pistacia lentiscus* e da herbácea *Phragmites australis* não é apropriado para esta tipologia uma vez que as suas dimensões podem comprometer a visibilidade dos automóveis estacionados e em movimento. Restam assim as espécies herbáceas que, por apresentarem características semelhantes oferecem versatilidade ao Plano de Plantação, à exceção da *Scrophularia canina* por não ser resistente ao encharcamento.

Como referido anteriormente, a hemi-bacia desta tipologia corresponde a uma secção da avenida de 50 m de comprimento. O excerto da avenida incorporado na área de intervenção estende-se, aproximadamente, por 1830 m. Para calcular um volume total para esta tipologia tem de se contar com os troços de passeio disponível de ambos os lados da avenida que corresponde, aproximadamente, a 2950 m. Desta forma, estão previstos um total de 59 unidades desta tipologia ao longo das duas laterais da avenida, que resulta num volume total de 1416 m³ de águas pluviais retidas, que por sua vez, não irão contribuir para as inundações a jusante. É de referir que algumas destas caldeiras possivelmente não poderiam ser construídas se se verificarem a existência de obstáculos, como, portões para entrada de viaturas, infraestruturas subterrâneas, entre outros.

Jardim de chuva no cruzamento da Av. Gago Coutinho e Av. Dom Rodrigo da Cunha

A segunda tipologia (figura v.15) baseia-se numa solução aplicável em situações de cruzamentos quando existe espaço público disponível, como é o caso as avenidas Gago Coutinho e D. Rodrigo da Cunha. As quatro zonas pedonais deste cruzamento têm funções distintas: os dois a Este, que ligam com a avenida José Régio, são ambos parques de estacionamento automóvel; enquanto que os dois a Oeste, junto à avenida D. Rodrigo da Cunha, são duas pequenas áreas ajardinadas, revestidas por relvado e alguns arbustos. Estes dois pequenos espaços não se encontram à mesma cota, pelo que a proposta se focou em adaptar o que se encontra à cota mais baixa, de forma a facilitar a entrada do escoamento pluvial para o interior. O desenho deste pequeno jardim de chuva assume uma v.bforma aproximadamente triangular e todo o seu perímetro é delimitado por passeio. Os passeios laterais à estrada têm a mesma largura que é igual à dos passeios da avenida Gago Coutinho, enquanto que o passeio na lateral maior do jardim é mais estreito, pois faz um percurso recolhido que evita o movimento do cruzamento. As caldeiras de bio retenção da tipologia anterior não serão implementadas no passeio que faz limite com este espaço, visto o escoamento das águas ser conduzido para o interior do jardim.

Com esta tipologia, pretende-se transformar o espaço num jardim de chuva (conhecido internacionalmente por *rain garden*) que recolhe as águas pluviais da hemi-bacia indicada para o seu interior, onde serão tratadas e retidas. Para isso, é necessário escavar o terreno de modo a obter uma depressão. A área da bacia impermeável desta tipologia desenvolve-se maioritariamente ao longo da avenida D. Rodrigo da Cunha, apenas na metade que drena para este lado, até ao fim do primeiro quarteirão, embora também englobe o quadrante adjacente do cruzamento, uma pequena secção da avenida Gago Coutinho e os passeios juntos à estrada e ao espaço verde. No total, o jardim foi calculado para infiltrar as águas de uma área de, aproximadamente, 2700 m² (figura v.16). A tabela v.2 apresenta os cálculos para o dimensionamento das caixas de infiltração.



LEGENDA

- 1 PASSADIÇO ELEVADO
- 2 MURO DE SUPORTE EM CHAPA DE AÇO CORTEN
- 3 DESCARREGADOR DE SUPERFÍCIE
- 4 VEGETAÇÃO ARBUSTIVA
- 5 VEGETAÇÃO ARBÓREA
- 6 ÁREA INUNDÁVEL
- 7 SEIXO ROLADO
- CURVAS DE NÍVEL
- LIMITE DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

DESENHO:
PLANO GERAL
TIPOLOGIA DE JARDIM DE CHUVA

LOCALIZAÇÃO:
CRUZAMENTO ENTRE AV. GAGO COUTINHO E AV. D. RODRIGO DA CUNHA



ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA
TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBER BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

01B



2018

Figura v.15 – Plano Geral da tipologia de jardim de chuva. [Fonte: desenho do autor]



Figura v.16 – Área impermeável para a tipologia de jardim de chuva. [Fonte: desenho do autor]

Tabela v.2 – Cálculos para os volumes (m^3) das diferentes caixas de infiltração para a solução na tipologia de cruzamento das avenidas Gago Coutinho e D. Rodrigo da Cunha. [Fonte: cálculos do autor, seguindo a metodologia elaborada pela NYC Environmental Protection]

Área de implementação	
Área da hemibacia (m^2)	2700,00
Volume de águas residuais (m^3)	67,50
Gestão do volume das águas pluviais	
Área total (m^2)	348,00
Geometria das caixas	
Área de instalação (m^2)	130,00
Volume de instalação (m^3)	130,00
Dados de infiltração	
Taxa de infiltração (cm/h)	0,508
Período de infiltração (h)	8,00
Volume estimado de infiltração (m^3)	14,14
Camada de solo vegetal	
Profundidade de solo (m)	0,30
Volume de solo (m^3)	39,00
Porosidade do solo	0,25
Capacidade de volume do solo (m^3)	9,75
Camada de gravilha	
Profundidade de gravilha (m)	0,70
Volume de gravilha (m^3)	91,00
Porosidade do gravilha	0,50
Capacidade de volume de gravilha (m^3)	45,50
Volume Parcial de Capacidade para Águas Pluviais (m^3)	69,39
Volume Total Estimando de Capacidade para Águas Pluviais (m^3)	69,39

A entrada do escoamento superficial é efetuada através dum lancil do tipo *Kerb Drain* da *ACO* capaz de desempenhar funções de drenagem (figura v.17). Esta peça tem a particularidade de o seu interior ser oco permitindo que o alinhamento de várias destas peças forme um canal e assim conduzir as águas de forma organizada, sem maiores obras de construção, que não seja a substituição do lancil e respetivas ligações. A face do lancil que faz limite com o tapete betuminoso apresenta uma sequência de orifícios que asseguram a entrada das águas pluviais para o seu interior. Posteriormente, os lancis são intercetados pelos sumidouros próprios que conduzem o escoamento para o interior do jardim, através de tubagens subterrâneas. O fim da tubagem está associado a um aglomerado de pedras fixadas em betão, de forma a diminuir a velocidade do escoamento e evitar a erosão do solo à entrada do jardim (pormenorizado no Plano de Pormenores no anexo 15). As três laterais do jardim de chuva irão receber água, porém prevê-se que o caudal proveniente da avenida D. Rodrigo da Cunha seja superior ao cruzamento em si, ao verificar que a área da bacia se estende maioritariamente ao longo da avenida, comparativamente ao cruzamento e ao troço da avenida Gago Coutinho. É de referir que o passeio da lateral maior do jardim será ajustado de modo a drenar diretamente para o interior do mesmo.



Figura v.17 – Lancil tipo *Kerb Drain* da Aco. No topo esquerdo, tem-se uma ilustração dos dois tamanhos possíveis do lancil, sendo que para o presente projeto escolheu-se o KB480 de 480 mm de altura. À direita, tem-se uma simulação do topo da tampa do sumidouro de descarga deste modelo. Abaixo, uma fotografia dos lancis instalados. [Fonte: catálogo fornecido pela marca e <https://www.aco.co.uk/products/kerbdrain>]

O caudal resultante das águas provenientes da avenida D. Rodrigo da Cunha e do cruzamento são os prioritários a escoar, uma vez que este projeto já propôs uma solução para a avenida Gago Coutinho. Procurando uma infiltração eficiente adotou-se um conjunto de medidas que promovam este processo. A primeira passou por modelar o jardim na forma de uma pequena bacia cuja cota mais baixa foi descentrada, formando taludes de diferentes inclinações. Com isto, pretende-se aumentar o comprimento do talude lateral à D. Rodrigo da Cunha, onde se encontram subterraneamente as caixas de infiltração. Na base do jardim está instalado o descarregador de superfície. A segunda técnica é a instalação de degraus em chapas de aço *corten* dispostos ao longo do talude

de modo a moldar o leito em forma de *zigue-zague*. O objetivo desta medida é prolongar ao máximo o percurso que a água tem que percorrer e aumentar a área em contacto com a superfície do jardim que cobre as caixas de retenção. A terceira medida passa por revestir a superfície do leito no jardim com uma camada de, sensivelmente, 10 cm de seixo rolado. Esta técnica segue o mesmo raciocínio, da anterior, na medida em que, ao diminuir a velocidade do escoamento, promove-se a precipitação e filtragem dos detritos transportados e a infiltração da água.

No contexto nacional, este tipo de soluções ainda não é praticado com frequência, pelo que se achou pertinente introduzir um elemento educativo na proposta. Assim, esta tipologia inclui a construção de um passadiço pedonal de 2 m de largura que faz a ligação entre o canto do jardim da avenida D. Rodrigo da Cunha com o da avenida Gago Coutinho. O jardim não tem nenhuma entrada à cota de superfície, o que faz deste dispositivo o único meio de visita para o interior do jardim, permitindo uma vista sobrelevada. No interior do passadiço, os visitantes vão poder perceber como esta estratégia funciona através de um painel ilustrativo que sintetiza os conceitos base deste tipo de soluções.

Esta tipologia orientou o plano de plantação tendo começado por responder a algumas condicionantes. Os fatores que mais condicionaram a plantação foram: a área onde se localizam as caixas de infiltração; a área de alagamento, que corresponde à porção de terreno a cotas inferiores ou iguais à cota do descarregador; a área revestida por seixo rolado; e a área abaixo do passadiço. Na área onde estão instaladas as caixas de infiltração não podem ser plantados árvores ou arbustos devido à insuficiência de solo para o crescimento das raízes e desenvolvimento das plantas. Na área inundável apenas podem ser plantadas espécies resistentes ao alagamento temporário. No leito revestido por seixo rolado não é proposta a plantação de qualquer vegetação. O passadiço está construído a uma altura de 70 cm acima da cota do talude com a mesma inclinação, pelo que apenas se propôs a plantação de *Iris pseudacorus*, visto ser uma espécie que em média atinge essa altura, embora possa chegar aos 150 cm durante o período de floração. Desta forma, foram elaborados dois planos de plantação, um para árvores e arbustos, sempre exteriores ao perímetro das caixas de infiltração e outro dedicado exclusivamente às herbáceas.

Existe uma clara intenção no desenho desta tipologia em obter um enquadramento estético e paisagístico, uma vez que as suas dimensões assim o permitem. As placas em aço *corten* surgem como elementos, não só funcionais, mas também estéticos dando estrutura ao jardim, criando pequenos açudes. A vegetação foi distribuída por manchas de espécies diferentes de forma a conseguir um desenho que varie tanto no espaço como no tempo, ao longo das estações do ano. A água é o elemento central desta tipologia, uma vez que irá percorrer o jardim até à zona mais funda e, em períodos de alagamento, a sua presença varia consoante a sua cota, proporcionando diferentes ambientes àquele espaço.

Microbacias de retenção na Av. Estados Unidos da América

O desenho da avenida dos EUA tem uma componente de arquitetura paisagista muito forte, isto porque o arquiteto paisagista Gonçalo Ribeiro Telles foi responsável pela qualificação dos espaços verdes da avenida em 1959 (Costa, 2005). Esse trabalho é bastante visível na lateral Norte da avenida, onde desde então, praticamente todos os logradouros ainda são espaços públicos de recreio, configurando, no seu conjunto, tipologias de espaço público interessantes para as propostas nesta avenida.

Os limites dos logradouros repetem-se, sendo delimitados por dois edifícios de maior porte a Este e Oeste, e por um outro de menores dimensões a Norte. Entre a estrada e o logradouro, existe um passeio e uma via que o comtorna, dando acesso a dois alinhamentos de estacionamento em espinha recolhido do movimento do eixo rodoviário. Entre o passeio e a avenida existe um corredor normalmente usado para estacionamento paralelo, porém ocasionalmente serve para paragens de autocarro. O alinhamento de passeio divide a hemi-bacia em duas, pelo que foram atribuídas as letras **A** para a zona de estacionamento interior e **B** para a parcela de avenida, visto tratar-se de duas hemi-bacias distintas.

A proposta para esta tipologia (figura v.18) insere-se no logradouro do meio, dos três compreendidos no troço entre as avenidas do Rio de Janeiro e de Roma. Delimitou-se a bacia de superfície impermeável pelo troço da avenida (3 faixas de rodagem) entre os dois edifícios que limitam o logradouro e o espaço compreendido até à fila de estacionamento interior, adjacente ao logradouro. A área impermeável mencionada corresponde à mancha clara ilustrada no centro da seguinte figura (v.19).

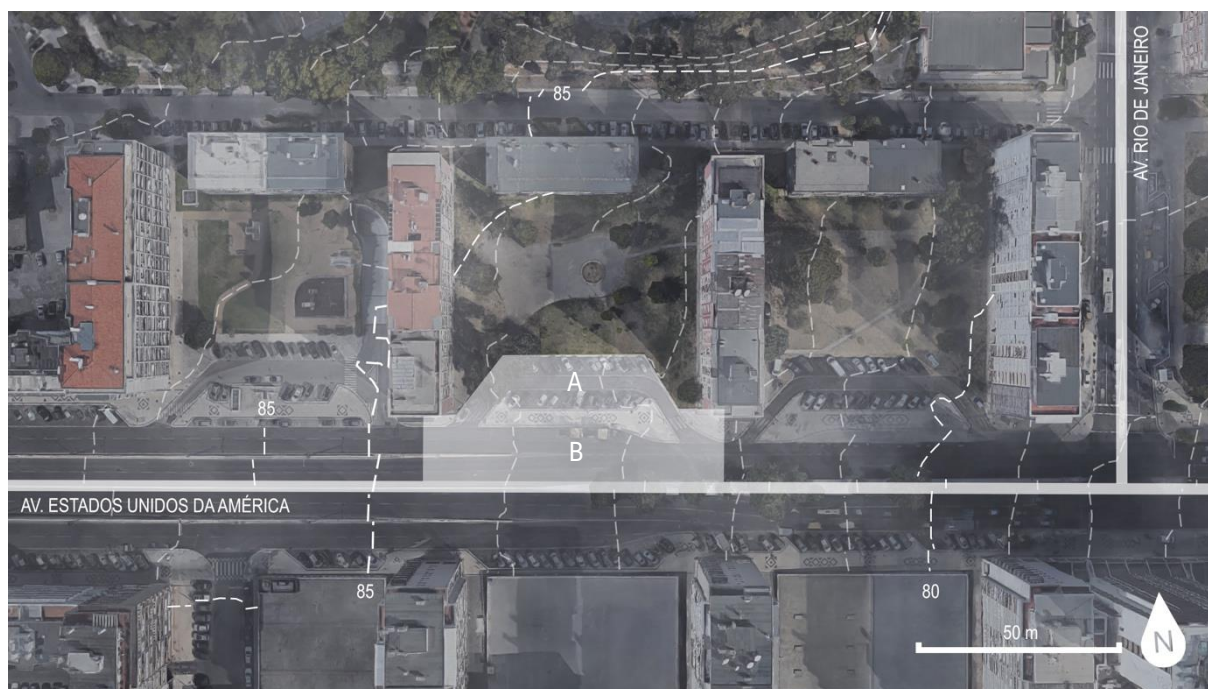
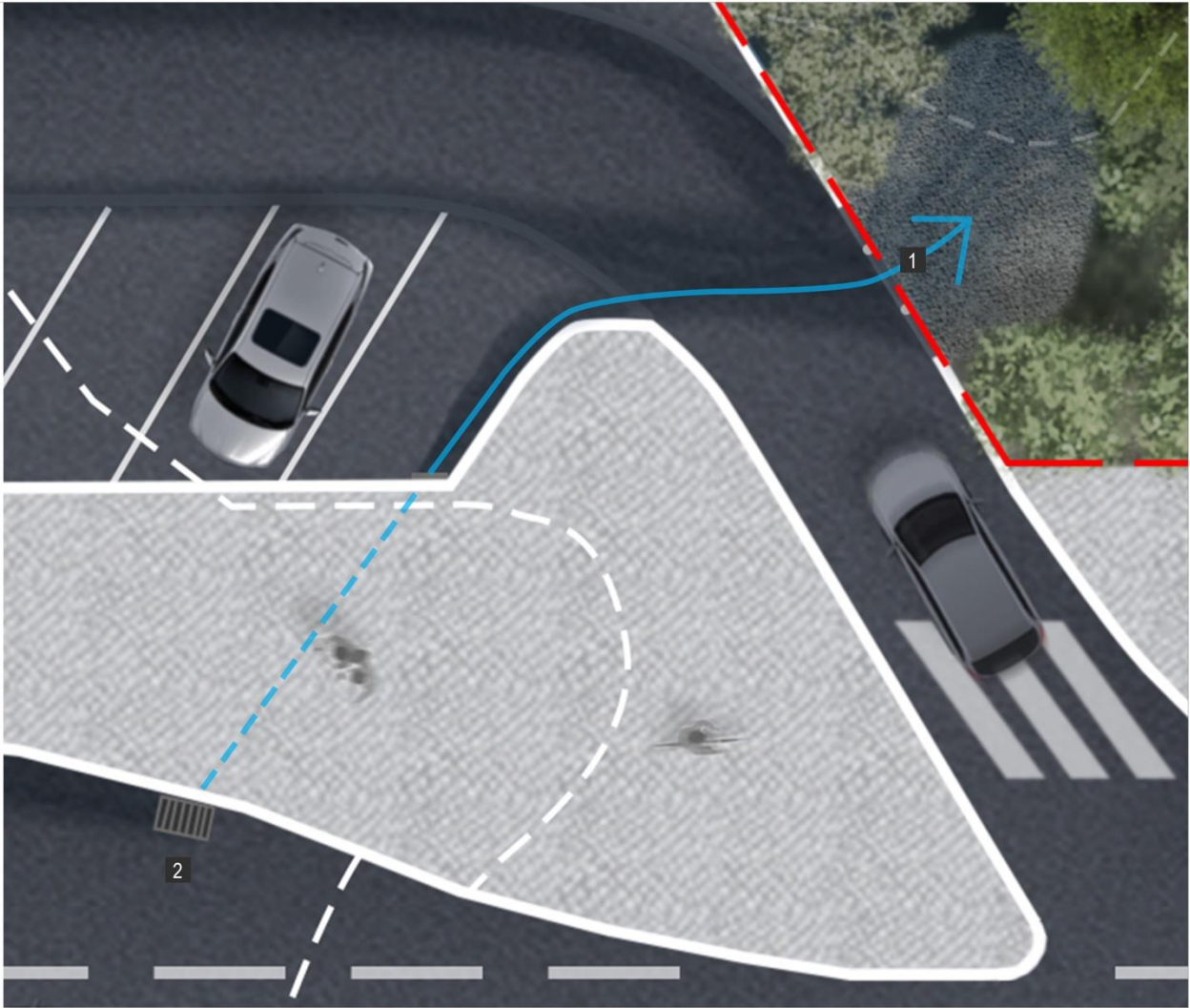


Figura v.19 – Área impermeável para a tipologia de microbacia de infiltração. [Fonte: desenho do autor]

No total, a bacia impermeável resulta numa área de aproximadamente 2200 m² e, consequentemente, um volume de 55 m³ de água para infiltrar. Estes cálculos e os de dimensionamento das caixas de retenção para esta proposta estão apresentados na tabela v.3.

A estratégia para esta tipologia passa pela construção de uma pequena bacia de infiltração no interior de cada logradouro. Uma bacia de infiltração e um jardim de chuva funcionam sobre os mesmos princípios. Neste trabalho a diferença que se propõe é que, enquanto um jardim de chuva revela, adicionalmente, uma preocupação estética mais trabalhada e uma intenção de ser visitado, uma bacia de infiltração (aqui denominada de microbacia atendendo às suas dimensões) foca-se sobretudo no seu objetivo nuclear de tratar e infiltrar águas pluviais. O nome internacional da solução que mais se assemelha a uma bacia de infiltração será *bioswale*.



LEGENDA

- 1 LANCIL REBAIXADO COM PILARETES PARA ENTRADA DE ÁGUA
- 2 SUMIDOURO DE ATRAVESSAMENTO DA ÁGUA
- 3 DESCARREGADOR DE SUPERFÍCIE
- 4 VEGETAÇÃO ARBUSTIVA
- 5 VEGETAÇÃO ARBÓREA
- 6 ÁREA INUNDÁVEL
- 7 SEIXO ROLADO

DESENHO:
PLANO GERAL
TIPOLOGIA DE MICRO-BACIA DE RETENÇÃO

LOCALIZAÇÃO:
AV. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBER BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

01c

esc.
1:150



2018

Figura v.18 – Plano Geral da tipologia de caldeira de microbacia de retenção. [Fonte: desenho do autor]

Tabela v.3 – Cálculos para os volumes (m³) das diferentes caixas de infiltração para a solução na tipologia de microbacia de infiltração na avenida EUA. [Fonte: cálculos do autor, seguindo a metodologia elaborada pela NYC Environmental Protection]

Área de implementação	
Área da hemibacia (m ²)	2200.00
Volume de águas residuais (m ³)	55.00
Gestão do volume das águas pluviais	
Área total (m ²)	275.30
Geometria das caixas	
Área de instalação (m ²)	200.00
Volume de instalação (m ³)	160.00
Dados de infiltração	
Taxa de infiltração (cm/h)	0.508
Período de infiltração (h)	8.00
Volume estimado de infiltração (m ³)	11.19
Camada de solo vegetal	
Profundidade de solo (m)	0.30
Volume de solo (m ³)	60.00
Porosidade do solo	0.25
Capacidade de volume do solo (m ³)	15.00
Camada de gravilha	
Profundidade de gravilha (m)	0.50
Volume de gravilha (m ³)	100.00
Porosidade do gravilha	0.50
Capacidade de volume de gravilha (m ³)	50.00
Volume Parcial de Capacidade para Águas Pluviais (m³)	76.19
Volume Total Estimando de Capacidade para Águas Pluviais (m³)	76.19

A pequena bacia de retenção desenvolve-se na zona mais baixa do logradouro (figura v.18) onde faz limite com a estrada que dá acesso ao parque de estacionamento. Este limite partilhado é feito por um lancil rebaixado que permite a entrada das águas da zona A para o interior da bacia de infiltração. Os alinhamentos de estacionamento drenam superficialmente para a via de acesso, no entanto, para receber o escoamento proveniente da zona B é necessário instalar um sumidouro que recolha as águas da avenida e uma tubagem transversal ao passeio, que as transporte subterraneamente para a zona A, onde irão escoar à superfície até à microbacia. Esta estratégia de condução das águas está representada no Plano de Drenagem e de Adução da Cisterna da tipologia seguinte.

Atualmente, os logradouros são frequentados sobretudo pelos residentes da zona envolvente. Os desenhos destes espaços verdes nunca se repetem contudo, existem algumas semelhanças entre eles, como a vegetação ou os tipos de pavimento. O revestimento vegetal do jardim é um prado regado e podem encontrar-se vários exemplares de *Fraxinus angustifolia*, dois de *Populus alba* e dois de *Nerium oleander*, que coincidem com a vegetação arbórea e arbustiva escolhida.

Para esta tipologia, as caixas de retenção são alongadas e desenvolvem-se para o interior do logradouro transversalmente à avenida, paralelamente ao prédio a Este, a uma distância de 5 metros deste para não interferir com as fundações. Para conseguir uma pequena bacia é necessário modelar o canto respetivo do logradouro, de forma a obter um perfil côncavo. O processo da modelação desenrola-se após se determinar a cota máxima de alagamento, que não pode ultrapassar a cota da entrada da água. Para assegurar essa cota, propõe-se a instalação de um descarregador na zona mais baixa da bacia de forma a que a grelha de descarga esteja a uma cota inferior à da entrada.

Recorrendo à técnica utilizada nas tipologias anteriores, a superfície da entrada da bacia é revestida por seixo rolado de modo a diminuir a velocidade do escoamento, como medida de prevenção à erosão do solo e de deposição dos detritos que transporta. Após perder energia, as águas são encaminhadas por gravidade para a zona baixa por um leito revestido com vegetação herbácea de caráter fito-remediador. É neste percurso que se dá início ao processo do tratamento do escoamento e da infiltração das águas. Como referido na tipologia anterior, não é proposta a plantação de árvores ou arbustos dentro do perímetro das caixas de infiltração.

O projeto desta tipologia tem a intenção de construir um lugar de valor estético, no entanto, o facto desta tipologia estar inserida no interior de um logradouro, a estratégia de desenho focou-se em conseguir um sentido de harmonia entre a proposta e as características paisagísticas da envolvente.

Esta tipologia repete-se em todos os logradouros ajardinados da avenida EUA, resultando num volume total de retenção de águas pluviais de 336 m³.

Cisternas na avenida Estados Unidos da América

As cisternas são um tipo de estrutura artificial de pequena escala e surgem como uma solução para responder às exigências hidrológicas exigentes, principalmente tendo em conta as projeções climáticas para a cidade de Lisboa. Ao prever eventos de precipitação extrema de curta duração, medidas como cisternas surgem como soluções de controlo na origem que vêm complementar as medidas de bio-retenção, com capacidade de armazenamento mais limitado. O conceito de armazenar a água da chuva surge como uma solução sustentável que se adequa a este projeto, na medida em que contribui para o alívio do caudal dos coletores da rede de drenagem, que é o seu principal objetivo. Por outro lado, a água armazenada será usada no futuro para a rega dos espaços verdes e limpeza das vias públicas.

O uso de cisternas era antigamente muito comum em todo o mundo. Em Portugal, esta estratégia caiu em desuso e não é atualmente muito viável, principalmente por motivos financeiros. Este tipo de soluções requer um investimento dispendioso de instalação com um período de retorno que se estende por muitos anos, justificando o consumo por meio da rede de abastecimento público, que ainda apresenta preços relativamente baixos (Oliveira, 2008). Nestes casos, a legislação pode ter um papel importante na adesão deste tipo de sistemas, ao exigir que sejam instalados nas novas construções. A Alemanha é um país exemplar no que diz respeito à implementação de políticas e apoios financeiros no sentido de promover a adoção de estratégias de armazenamento da água da chuva (Schuetze, 2013). O município da cidade de Shenzhen, na China, é outro caso exemplar que recorreu a

políticas de incentivo à adoção deste tipo de estratégias, como forma de combater a crise hídrica que a cidade enfrenta face ao rápido crescimento demográfico (IWA, 2017).

Esta tipologia pretende, portanto, armazenar caudal de águas pluviais antes de entrar no sistema de drenagem e atenuar o consumo de água por parte do município, para fins que não o consumo humano. Continuando no logradouro da tipologia anterior, estudou-se a viabilidade de recolher, durante todo o ano, a água da chuva das coberturas dos edifícios e de outras áreas impermeabilizadas, e armazená-las numa cisterna. Todo o volume de água armazenado será usado na rega dos espaços verdes do respetivo logradouro durante os seis meses de rega – desde abril a setembro.

Para o dimensionamento da cisterna usou-se a metodologia explicada na ETA²¹ 0701, que “estabelece critérios técnicos para a realização de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) em edifícios, para outros fins que não o consumo humano” (Silva-Afonso, 2009, p. 1). Começou-se por calcular o volume de água necessário para a rega da área ajardinada do logradouro em estudo, sabendo que essa área equivale a 1713 m² e que os valores de rega para relvados variam entre 450 a 800 l/m², segundo a atual ETA. Tendo em conta que o revestimento do logradouro é um prado regado de capacidade de carga pouco exigente, usou-se o valor de 450 l/m², resultando num volume total de 770,85 m³. De seguida utilizou-se a fórmula da ETA que permite calcular o volume anual de água da chuva que é possível aproveitar para uma determinada área de captação.

$$Va = C.P.A.\eta_f$$

Va – Volume anual de água de chuva aproveitável; **C** – Coeficiente de escoamento inicial da cobertura;
P – Precipitação média acumulada anual; **A** – Área total de captação; **η_f** – Eficiência hidráulica de filtragem

A situação ideal seria armazenar um volume de água pluvial igual, ou superior, ao volume necessário para a rega durante os seis meses sem recorrer à adução por meio do abastecimento municipal. Para estes cálculos, tiveram-se em conta os seguintes valores:

- × O coeficiente do escoamento inicial da cobertura (**C**) varia consoante o tipo de superfícies, sendo que para superfícies impermeáveis são recomendados valores de 0,8.
- × Segundo a ETA, a cidade de Lisboa insere-se na região cuja precipitação média acumulada anual (**P**) é de 700 mm. De acordo com as normais climáticas no período entre 1971-2000 do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA, 2019), a região de Lisboa conta com valores de 725,8 mm anuais. Contudo, serão tidos em consideração os valores de 700 mm, de modo a obter resultados conservadores e concordantes com as perspetivas climáticas.
- × A área (**A**) das coberturas dos edifícios a Oeste e Norte do logradouro e do tapete betuminoso do pátio de recreio no interior do logradouro, resultam num total de 1640 m².
- × Relativamente à eficiência hidráulica de filtragem (**η_f**), a especificação técnica recomenda que seja admitido por defeito o valor de 0,9.

²¹ Especificação Técnica da ANQIP (Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais)

Segundo os cálculos, prevê-se um aproveitamento de 826,56 m³ de águas pluviais. Isto significa que o volume armazenado excede o requisitado para a rega, em mais de 50 m³ porém, segundo a ETA, uma cisterna deve ser dimensionada em excesso para cobrir eventuais períodos de seca. Desta forma, esta cisterna foi desenhada com as dimensões interiores de 28 m de comprimento, 12 m de largura e 2,5 m de altura, resultando num volume total de 840 m³. O projeto propõe a construção subterrânea desta estrutura dentro dos limites do pátio de recreio, de forma a aproveitar esta área já impermeabilizada. Como solução de controlo na origem, esta medida consegue armazenar 80% do volume total de água precipitado, desde que o seu volume disponível assim o permita. Isto significa que, ao contrário das soluções de bio-retenção, o dimensionamento de uma cisterna não se foca apenas na retenção dos primeiros 25 mm de pluviosidade, uma vez que a dinâmica de enchimento e esvaziamento se dá à escala anual.

A ETA 0701 indica algumas noções importantes que se tiveram em conta na pormenorização da cisterna, desde a posição relativa de dispositivos, como descarregadores de superfície e de fundo, filtros, bombas, entre outros; até questões de segurança e manutenção. Para esta tipologia, desenhou-se o Plano de Drenagem e de Adução da Cisterna (inserido no fim deste capítulo) em conjunto com a tipologia anterior, visto partilharem o mesmo local de intervenção. Foi também elaborado o Plano de Pormenor de Construção da Cisterna onde estão representados esquematicamente os dispositivos essenciais para o funcionamento desta cisterna, posicionados consoante a sua função na mesma, de acordo com a descrição da especificação consultada.

5.4 Discussão dos resultados

De forma a perceber o contributo das medidas de bio-retenção na diminuição da vulnerabilidade a inundações em no local de estudo, a tabela seguinte (v.4) faz uma estimativa dos seus volumes de retenção.

Tabela v.4 – Estimativa do volume de retenção do conjunto das tipologias de bio-retenção utilizadas neste projeto. Estes volumes correspondem à retenção dos primeiros 25 mm de água de um evento de precipitação extrema. [Fonte: cálculos do autor]

Tipologia	Volume por unidade (m ³)	Nº total de unidades na área de estudo	Volume total (m ³)
Caldeiras de bio-retenção	24,20	59	1427,80
Jardim de chuva	69,39	1	69,00
Micro-bacias de retenção	76,19	6	457,14
Volume máximo de retenção (m³)			1953,94

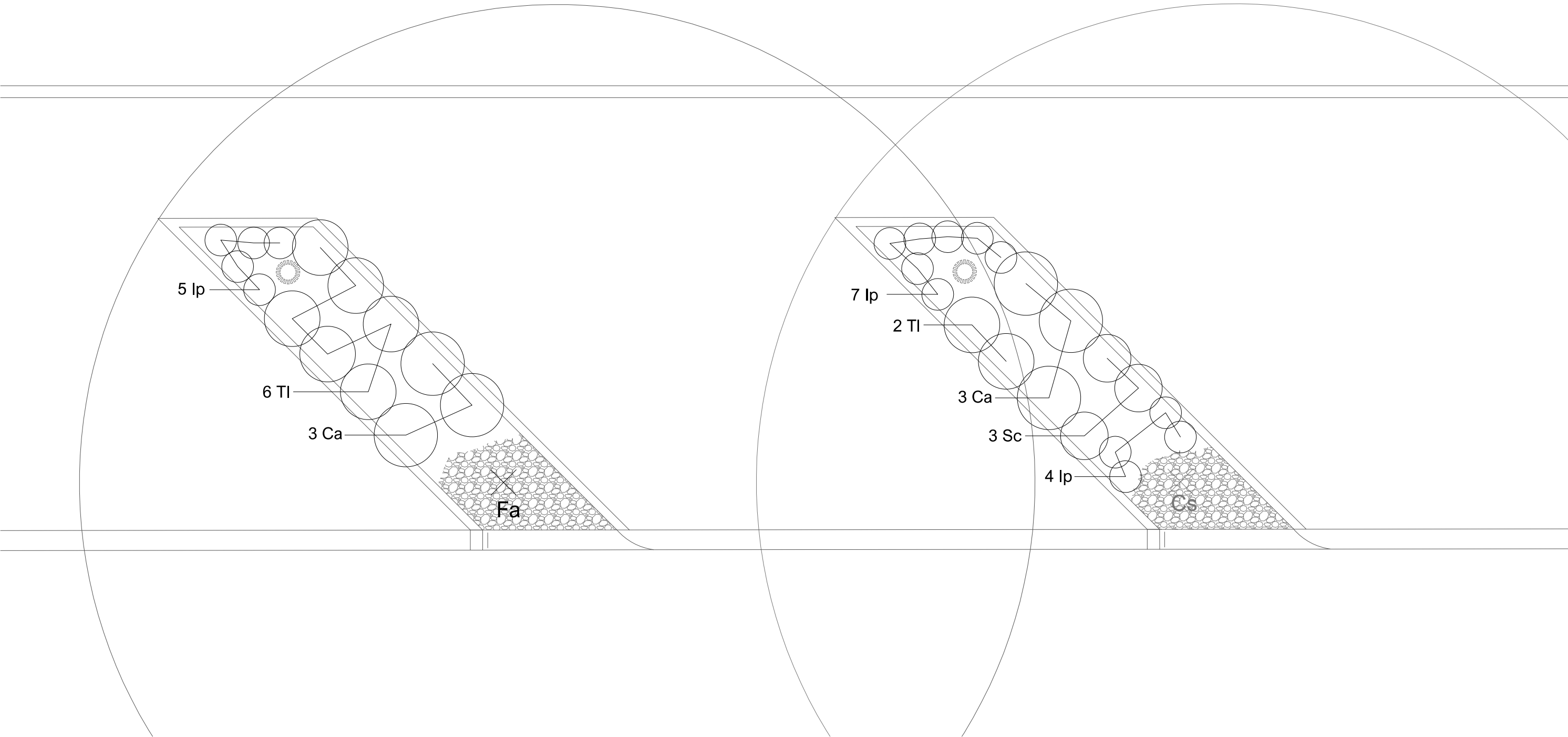
Como referido no início deste capítulo, ao dimensionar as soluções para se reterem os primeiros 25 mm das águas dos eventos de precipitação, reduz-se cerca de 80% dos episódios de inundações em espaço público, para a cidade de Lisboa. Através dos projetos deste trabalho, torna-se evidente que o espaço público tem capacidade para gerir as águas pluviais, em complementaridade com o sistema de drenagem convencional, recorrendo a soluções de controlo na origem e, quando possível, baseada nos processos naturais que promovam a retenção e infiltração.

É importante notar-se que estes valores são conservadores visto alguns fatores não terem sido contabilizados. Alguns desses fatores são, por exemplo, o facto dos descarregadores das medidas de bio-retenção estarem propostos a uma cota sobrelevada, o que promove a formação de pequenas charcas, entre a superfície do solo e a entrada do descarregador; o volume das caixas de retenção, indicado nas tabelas de dimensionamento para as tipologias de jardim de chuva e microbacias de retenção, corresponde apenas ao volume de uma área delimitada nas zonas de cota inferior. Porém as margens desses espaços são também preenchidas por camadas dos mesmos inertes que dão forma à modelação do terreno, resultando numa capacidade acrescida (e não contabilizada) de retenção, como se pode consultar nos desenhos de cortes e pormenores de construção de cada tipologia, em anexo.

5.5 Peças desenhadas

Este projeto engloba os seguintes elementos desenhados, organizados segundo as respetivas tipologias:

- × Caldeiras de bio-retenção na avenida Gago Coutinho:
 - A01 – Plano Geral (figura v.12)
 - A02 – Plano de plantação (figura v.20)
 - A03 – Plano de pormenores de construção (anexo 14)
 - Ilustração de perspetiva (figura v.13)
- × Jardim de chuva no cruzamento das avenidas Gago Coutinho e D. Rodrigo da Cunha
 - B01 – Plano Geral (figura v.15)
 - B02 – Plano de plantação de árvores e arbustos (figura v.21)
 - B03 – Plano de plantação de herbáceas (figura v.22)
 - B04 – Perfis altimétricos (anexo 15)
 - B05 – Pormenores de construção (anexo 16)
 - Ilustração de perspetiva (figura v.23)
- × Microbacia de retenção na avenida EUA
 - C01 – Plano Geral (figura v.18)
 - C02 – Plano de plantação de árvores e arbustos (figura v.24)
 - C03 – Plano de plantação de herbáceas (figura v.25)
 - C04 – Perfis altimétricos (anexo 17)
 - C05 – Pormenores de construção (anexo 18)
 - Ilustração de perspetiva (figura v.26)
- × Cisterna de águas pluviais na avenida EUA
 - D01 – Plano de drenagem e plano de adução da cisterna (figura v.27)
 - D02 – Plano de pormenores de construção da cisterna (figura v.28)



Vegetação proposta

Abrev.	Nome científico	Quantidades
Ca	<i>Cyperus alternifolius</i>	6
Cs	<i>Cercis siliquastrum</i>	-
Fa	<i>Fraxinus angustifolia</i>	1
Ip	<i>Iris pseudacorus</i>	16
Sc	<i>Scrophularia canina</i>	3
TI	<i>Typha latifolia</i>	8



Seixo rolado

DESENHO:
PLANO DE PLANTAÇÃO
TIPOLOGIA DE CALDEIRA DE BIORETENÇÃO
LOCALIZAÇÃO:
AV. ALMIRANTE GAGO COUTINHO



ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA
TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

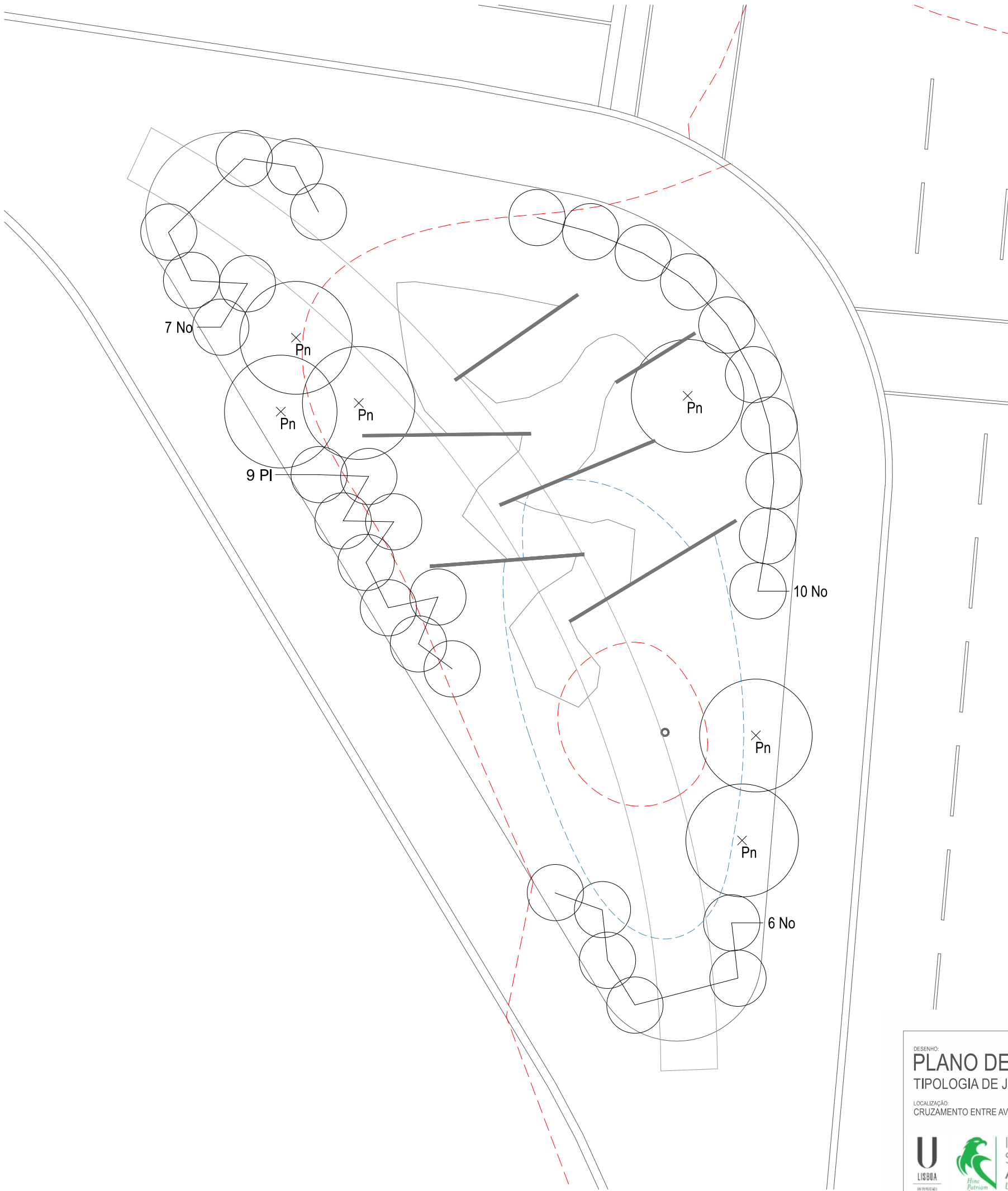
UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

02A

esc
1:150



2018



- Curvas de nível
- Limite de inundação
- Chapa em aço *corten*
- Descaregador

Sigla	Espécie	Quantidades
No	<i>Nerium oleander</i>	23
PI	<i>Pistacia lentiscus</i>	9
Pn	<i>Populus nigra</i>	6

DESENHO:
PLANO DE PLANATÇÃO DE ÁRVORES E ARBUSTOS
TIPOLOGIA DE JARDIM DE CHUVA

LOCALIZAÇÃO:
CRUZAMENTO ENTRE AV. GAGO COUTINHO E AV. D. RODRIGO DA CUNHA



ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA
TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

02B

esc
1:150



2018



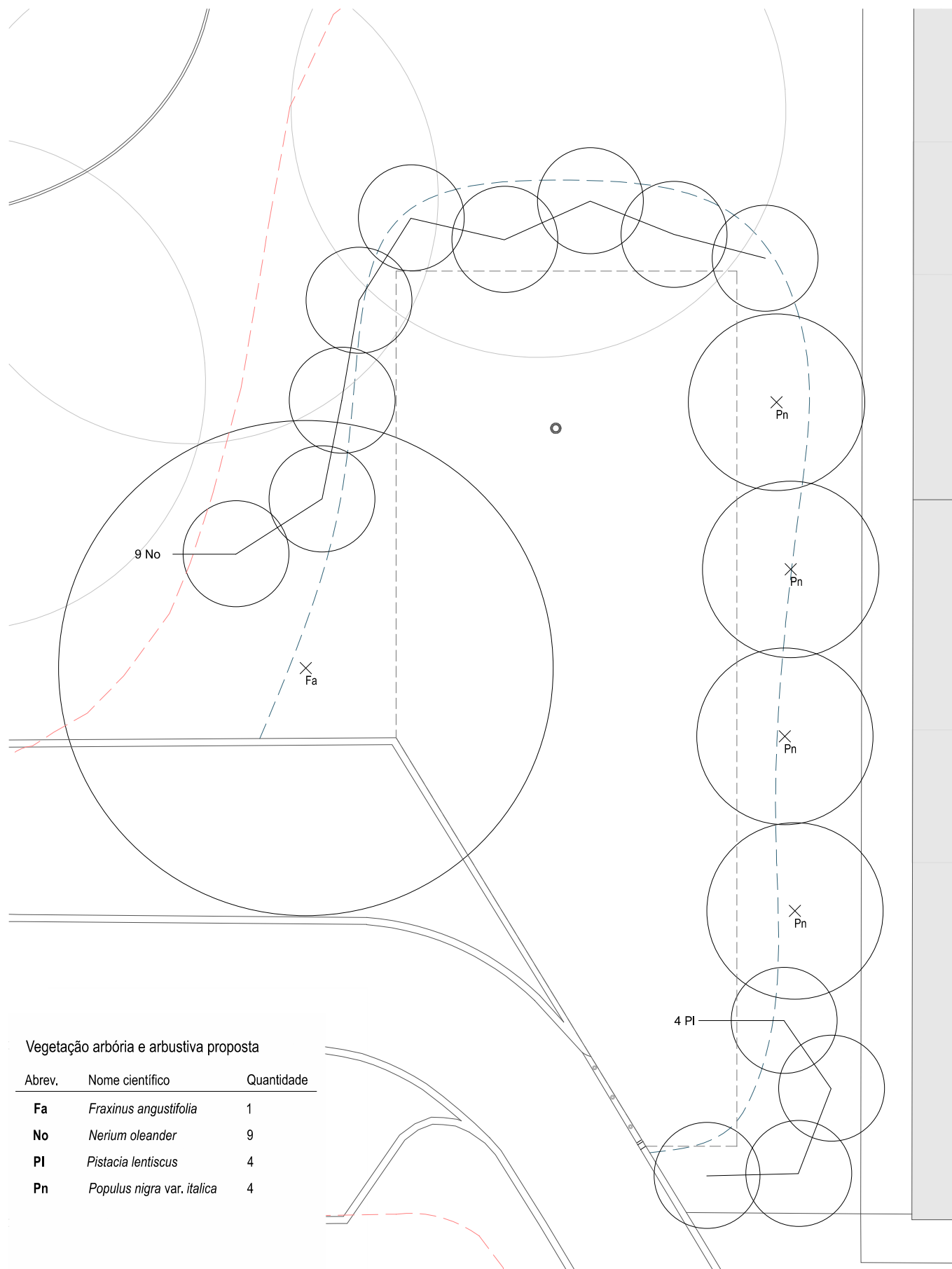
- Curvas de nível
- Limite de inundação
- Chapa em aço *corten*
- Descaregador

Sigla	Espécie	Quantidade
Ca	<i>Cyperus alternifolius</i>	28
Ip	<i>Iris pseudacorus</i>	10 pés/m ²
J	<i>Juncus spp.</i>	28
Pa	<i>Phragmites australis</i>	31
Sc	<i>Scrophularia canina</i>	7 pés/m ²
TI	<i>Typha latifolia</i>	39

- Ip Área: 30,3 m²
- Sc Área: 35,2 m²



Figura v.23 – Perspetiva da tipologia de jardim de chuva [Fonte: desenho do autor]



Vegetação arbórea e arbustiva proposta

Abrev.	Nome científico	Quantidade
Fa	<i>Fraxinus angustifolia</i>	1
No	<i>Nerium oleander</i>	9
PI	<i>Pistacia lentiscus</i>	4
Pn	<i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i>	4

DESENHO:

PLANO DE PLANTAÇÃO DE ÁRVORES E ARBUSTOS

TIPOLOGIA DE MICRO-BACIA DE RETENÇÃO

LOCALIZAÇÃO:

AV. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE Mestrado em Arquitetura Paisagista
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

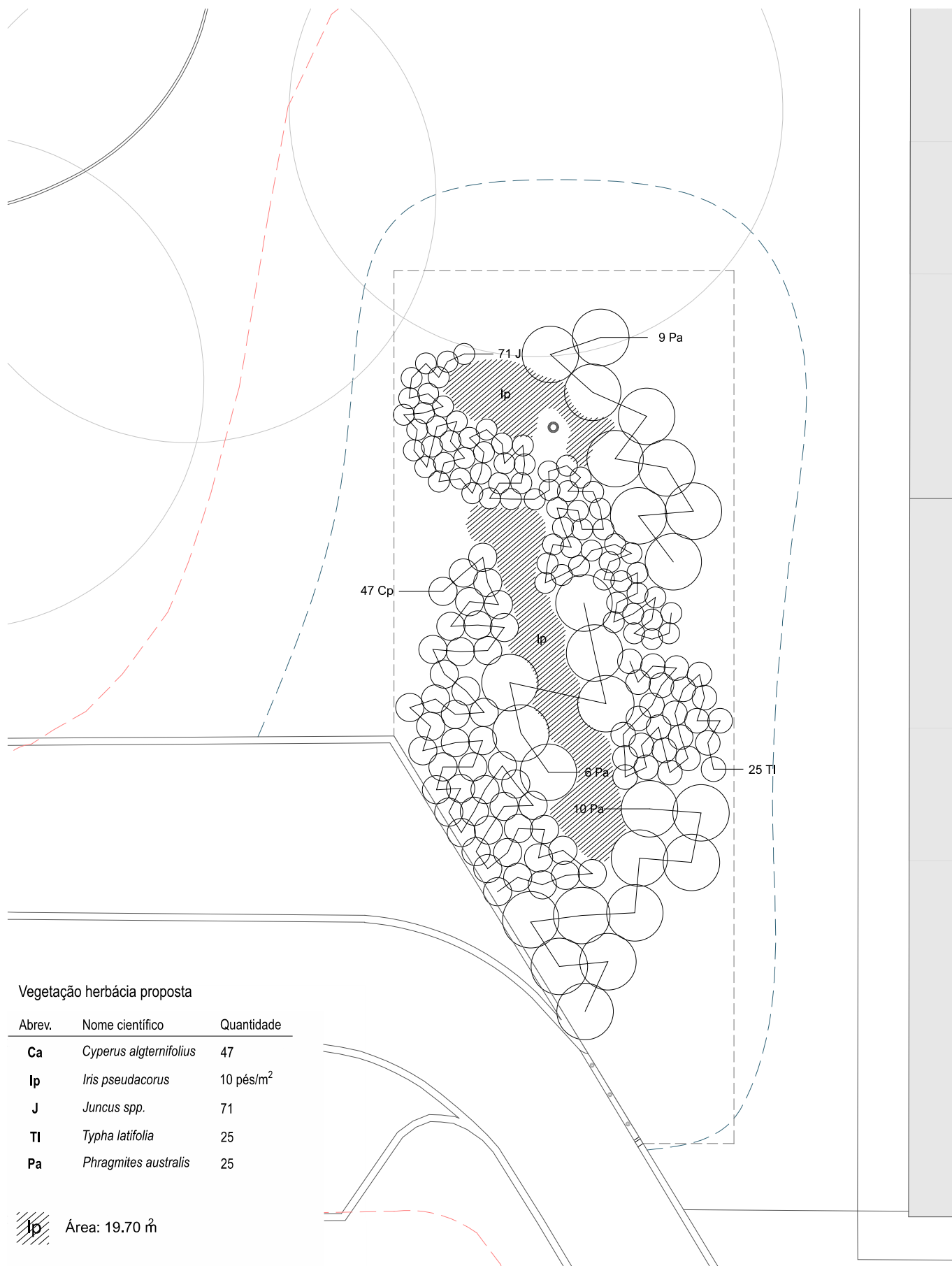
02c

esc

1:150



2018



Vegetação herbácea proposta

Abrev.	Nome científico	Quantidade
Ca	<i>Cyperus algernifolius</i>	47
Ip	<i>Iris pseudacorus</i>	10 pés/m ²
J	<i>Juncus</i> spp.	71
TI	<i>Typha latifolia</i>	25
Pa	<i>Phragmites australis</i>	25

Área: 19.70 m²

DESENHO:

PLANO DE PLANTAÇÃO DE HERBÁCEAS

TIPOLOGIA DE MICRO-BACIA DE RETENÇÃO

LOCALIZAÇÃO:

AV. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE Mestrado em Arquitetura Paisagista
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

03c

esc

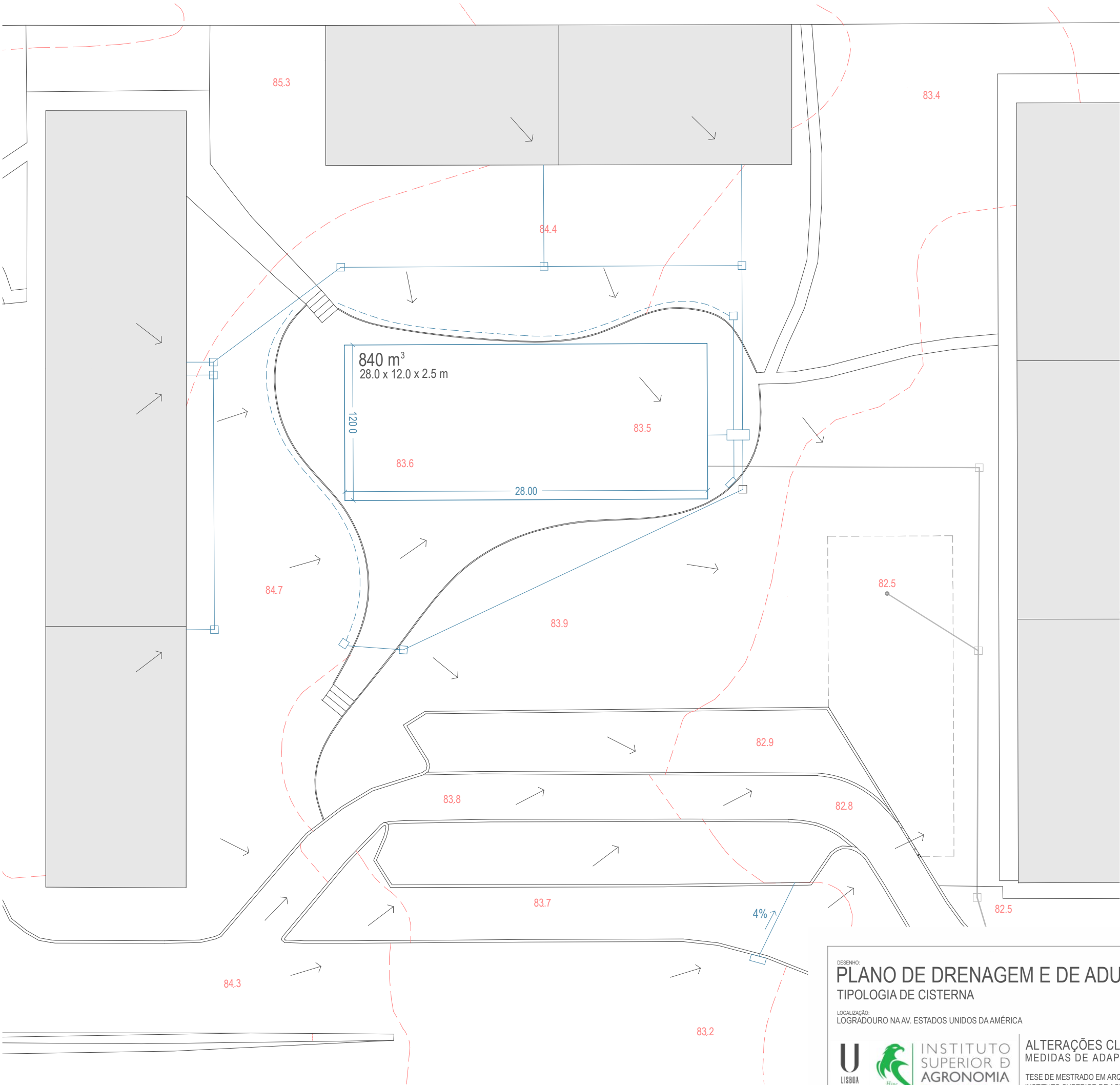
1:150



2018



Figura v.26 – Perspetiva da tipologia de microbacia [Fonte: desenho do autor]



- PLANIMETRIA DA CISTERNA
SENTIDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
- ADUÇÃO DA CISTERNA
TUBO RÍGIDO EM PVC
GEODRENO PERFURADO
CAIXA DE VISITA
SUMIDOURO
- LIGAÇÃO AO SISTEMA DE DRENAGEM
TUBO EM PVC RÍGIDO
CAIXA DE VISITA

DESENHO:
PLANO DE DRENAGEM E DE ADUÇÃO DA CISTERNA
TIPOLOGIA DE CISTERNA

LOCALIZAÇÃO:
LOGRADOURO NA AV. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA



**INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA**
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE Mestrado em Arquitetura Paisagista
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

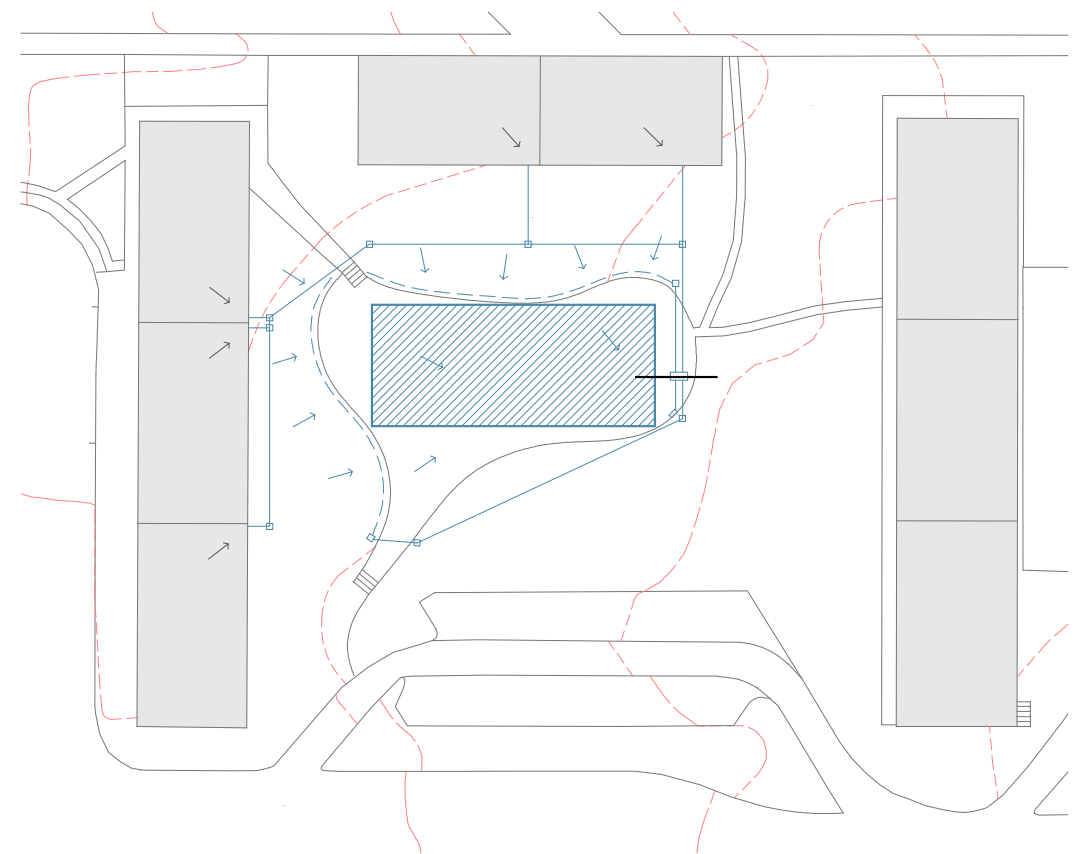
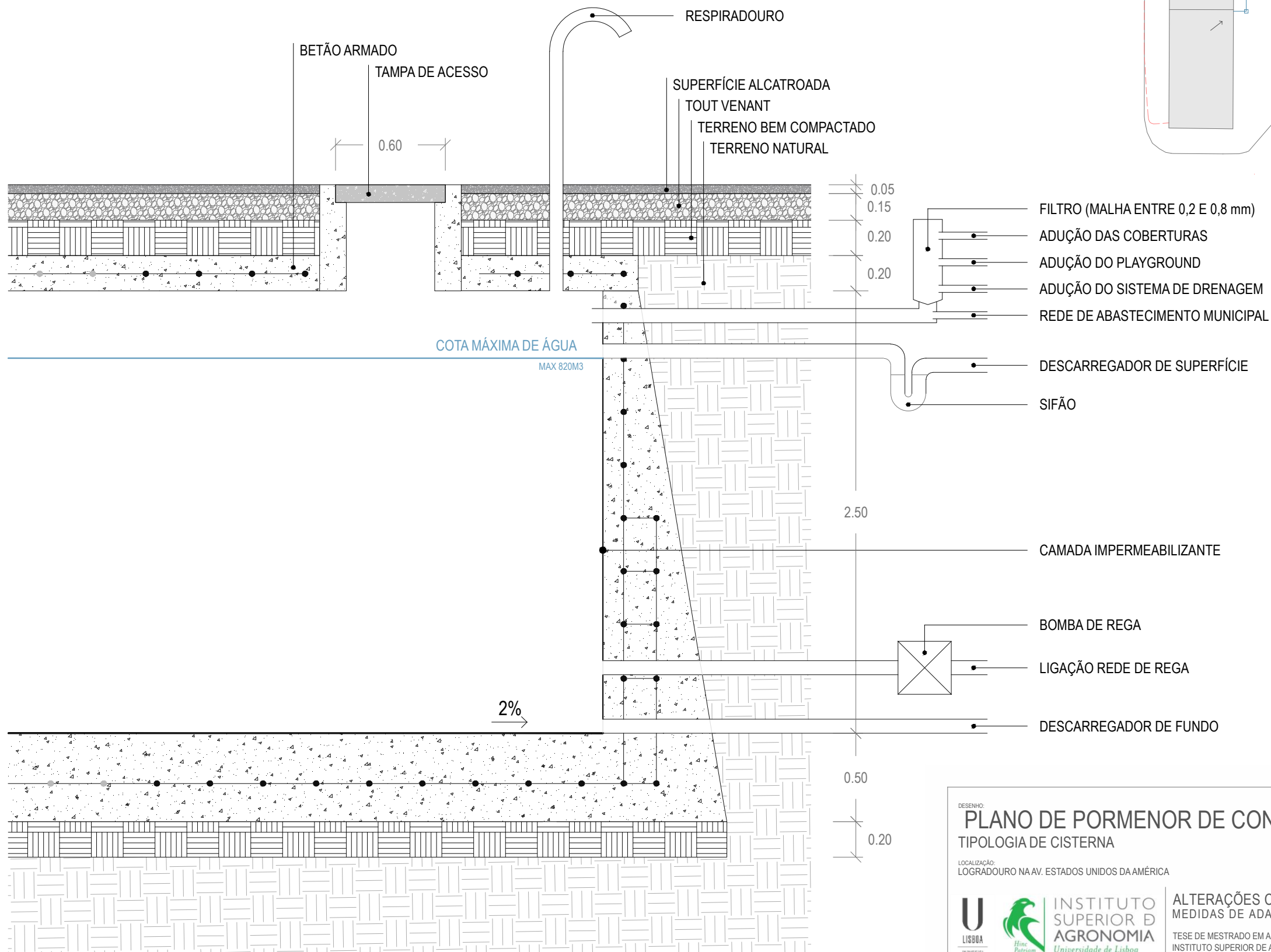
UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

01D

esc
1:250



2018



- FILTRO (MALHA ENTRE 0,2 E 0,8 mm)
- ADUÇÃO DAS COBERTURAS
- ADUÇÃO DO PLAYGROUND
- ADUÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM
- REDE DE ABASTECIMENTO MUNICIPAL

- DESCARREGADOR DE SUPERFÍCIE
- SIFÃO

PLANO DE PORMENOR DE CONSTRUÇÃO DA CISTERNA

TIPOLOGIA DE CISTERNA

LOCALIZAÇÃO:
LOGRADOURO NA AV. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

02D

esc 1

1:750

esc 2

1:25



2018

Conclusões

O clima do planeta está em mudança como consequência do aquecimento global provocado pela contínua e excessiva emissão humana de gases com efeitos de estufa para a atmosfera. Os efeitos das alterações climáticas são de diferentes naturezas e manifestam-se de diferentes formas sobre o planeta. A comunidade científica prevê que eventos climáticos extremos sigam a tendência de se tornarem mais intensos e frequentes com o tempo, uma vez que as atividades humanas não apresentam sinais de abrandamento na queima de combustíveis fósseis. Um dos efeitos destas alterações são eventos curtos de precipitação extrema, dando origem, em cidades como Lisboa, a inundações urbanas que comprometem não só a dinâmica da cidade mas também a própria vida dos habitantes.

Embora a adaptação das cidades aos extremos climáticos ainda esteja longe de se tornar numa prioridade global, já se produziu muito trabalho de investigação nesse sentido. Contudo, após uma extensa pesquisa bibliográfica, notou-se que, frequentemente, as propostas carecem de uma componente prática com soluções projetuais, de escala local, adaptadas a contextos específicos. Foi a ambição de contribuir para a adaptação da cidade de Lisboa às alterações climáticas e em especial à redução da vulnerabilidade perante episódios de inundações, que motivou a realização deste trabalho. O projeto aqui apresentado expõe um conjunto de soluções de gestão sustentável de águas urbanas aplicadas em tipologias de espaço público da cidade de Lisboa, nomeadamente no cruzamento das avenidas Gago Coutinho e EUA.

A delimitação da área de intervenção foi definida com recurso aos registos das ocorrências de inundações em espaço público fornecidas pelo Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa, onde são descritos os fatores que originaram a inundação. As medidas aplicadas neste projeto foram retiradas do trabalho de doutoramento da Professora Matos Silva, onde estão reunidas as soluções de gestão de água pluvial ajustadas à cidade de Lisboa e ao seu clima. Estas soluções baseiam-se nos processos naturais de retenção, infiltração e fitorremediação, e atuam como soluções de controlo na origem, na medida em que, recebem o escoamento superficial desorganizado e aliviam o caudal nos coletores da rede de drenagem. Posteriormente, cada solução foi calculada individualmente de modo a conseguir reter e infiltrar o escoamento que lhe compete de uma forma eficiente, recorrendo à metodologia de dimensionamento de caixas drenantes utilizada pela *NYC Environmental Protection* (proteção ambiental da cidade de Nova Iorque, traduzido pelo autor). O enquadramento destas medidas no terreno respeitou as limitações e sugestões enumeradas no Manual do Espaço Público da cidade de Lisboa, elaborado pela CML. Com isto pretende-se obter um projeto que seja o mais compatível possível com o desenho do espaço público da cidade, de forma a facilitar a replicação para outras zonas urbanas.

Existe um vasto número de artigos científicos sobre as alterações do clima, os seus efeitos, as projeções futuras e a importância da mitigação e da adaptação a estas alterações. Contudo, as referências de maior importância neste tema foram a NASA pelos registos e factos científicos, que disponibiliza de uma forma muito clara, e os *Assessment Reports* publicados pelo IPCC, que embora sejam documentos extremamente complexos, englobam informação de inúmeros corpos científicos, o que serviu também como uma excelente fonte de outras referências bibliográficas fidedignas.

Existem alguns pontos-chave que são necessários esclarecer após este trabalho. Em primeiro lugar, o uso deste tipo de soluções não deve, em qualquer instante, desviar a atenção das entidades responsáveis pela manutenção destes espaços, uma vez que a monitorização periódica destas tipologias, pelo menos nos primeiros anos após a instalação, é crucial para um desempenho eficiente. O segundo ponto a realçar é o facto de que a replicação destas tipologias para outras áreas da

cidade deve ser sempre acompanhada por um estudo prévio desse espaço e a devida adaptação do lugar para assegurar o normal funcionamento da tipologia e a segurança de todos. Por fim, é importante esclarecer que o papel das medidas de gestão de água pluvial aqui propostas é aumentar a resiliência da cidade e da rede de drenagem a eventos de precipitação, sendo suposto trabalharem lado-a-lado com o sistema convencional. Em eventos de precipitação mais intensa que o esperado, em que o escoamento pluvial é superior àquele que se calculou para os das medidas de gestão de água pluvial aqui propostas, os descarregadores de superfície fazem a ligação com a rede de drenagem. Quando se pretende a resolução de episódios de inundações recorrentes num curto período, as estruturas mono-específicas apresentam a vantagem de atuar com o máximo de eficiência logo após a sua construção ter terminado. Conhecendo as vantagens de cada tipo de soluções, considera-se que se deverá investir de forma equilibrada tanto em estratégias sustentáveis como em sistemas convencionais.

A elaboração deste projeto procura contribuir para o processo de adaptação da cidade de Lisboa às inundações urbanas, pelo que se achou importante que este apresentasse elementos pormenorizados. Algo que contribuirá para o enriquecimento deste trabalho é uma estimativa orçamental para este projeto e um estudo económico que indique efetivamente, para a cidade de Lisboa, quão rentável é a adoção destas soluções face às convencionais, a curto e longo prazo. Esse estudo será bastante útil na defesa dos benefícios deste tipo de medidas de gestão de água pluvial em apresentações com decisores políticos que, por norma, não avançam com intervenções que sejam pouco esclarecedoras quanto ao custo e retorno económico. Este movimento de preparar as nossas cidades para o futuro climático de uma forma resiliente tem ainda muito espaço para expansão e a sua evolução está dependente de novas formas de planeamento urbano e prática de gestão de inundações.

Referências bibliográficas

- Abraham**, John. (2017). *Scientists Study Ocean Absorption of Human Carbon Pollution | The Guardian*, 16 de Fevereiro de 2017, Disponível em <http://www.theguardian.com/environment> [consultado a 16 de maio de 2018].
- Abreu**, Maria Manuela, e Manuela R. Magalhães. (2007). *Estrutura Ecológica da Paisagem - Conceitos e delimitação*. 07–2007.ª ed. Lisboa: Isa Press.
- Ahmad**, Syed Shakeel, Zafar A. Reshi, Manzoor A. Shah, Irfan Rashid, Roshan Ara, e Syed M. A. Andrabi. (2014). «Phytoremediation Potential of Phragmites Australis in Hokersar Wetland - a Ramsar Site of Kashmir Himalaya». *International Journal of Phytoremediation* 16 (7–12): 1183–91.
- Al-Ameri**, Mohammed, Belinda Hatt, Sebastien Le Coustumer, Tim Fletcher, Emily Payne, e Ana Deletic. (2018). «Accumulation of heavy metals in stormwater bioretention media: A field study of temporal and spatial variation». *Journal of Hydrology* 567 (Dezembro): 721–31.
- Ascher**, François. (2004). *Os novos princípios do urbanismo*. La Tour d'Aigues: Éditions de l'Aube.
- Bacchetta**, G., A. Cao, G. Cappai, A. Carucci, M. Casti, M. L. Fercia, R. Lonis, e F. Mola. (2012). «A field experiment on the use of Pistacia lentiscus L. and Scrophularia canina L. subsp. bicolor (Sibth. et Sm.) Greuter for the phytoremediation of abandoned mining areas». *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 146 (4): 1054–63.
- BBC News**. (2013). «A Brief History of Climate Change». *BBC News*, 20 de Setembro de 2013, sec. Science & Environment. Disponível em <http://www.bbc.com/news/science-environment-15874560> [consultado a 29 de março de 2018].
- Black**, Annetta. 2019. «The Medieval Stepwells of India». *Atlas Obscura* (blog). <http://www.atlasobscura.com/places/ancient-stepwells-india> [consultado a 16 de janeiro de 2019].
- Blair**, A., S. Lovelace, D. Sanger, A. F. Holland, L. Vandiver, e S. White. (2014). «Exploring Impacts of Development and Climate Change on Stormwater Runoff». *Hydrological Processes* 28 (5): 2844–54.
- Brown**, Rebekah, Nina Keath, e Tony Wong. (2008). «Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States», 10. https://www.researchgate.net/publication/228344384_Transitioning_to_water_sensitive_cities_historical_current_and_future_transition_states.
- Caldelas**, Cristina, Jose Araus, A Febrero, e Jordi Bort. (2005). «Accumulation and toxic effects of chromium and zinc in Iris pseudacorus L». *Acta Physiologiae Plantarum* 34 (Janeiro): 1217–28.
- Chappell**, Jonathan. (1998). «Phytoremediation of TCE using Populus».
- CML**. (2008). «Riscos da Cidade». Câmara Municipal de Lisboa. 2008. <http://www.cm-lisboa.pt/viver/seguranca/protecao-civil/riscos-da-cidade> [consultado a 6 de outubro de 2018].
- CML**. (2015). «Biodiversidade Na Cidade de Lisboa. Uma Estratégia Para 2020». Câmara Municipal de Lisboa. https://issuu.com/camara_municipal_lisboa/docs/biodiversidade_estrat_2020 [consultado a 27 de setembro de 2018].
- CML**. (2018). «Lisboa: o Desenho de Rua - Manual de espaço público». CML. <http://www.cm-lisboa.pt/viver/urbanismo/espaco-publico>.
- CML**. (2019). «A nova Praça de Espanha». Câmara Municipal de Lisboa. Fevereiro de 2019. http://www.cm-lisboa.pt/no_cache/noticias/detalhe/article/a-nova-praca-de-espanha [consultado a 11 de maio de 2019].
- Costa**, João Pedro. (2005). *Bairro de Alvalade: um paradigma no urbanismo português*. 2. ed. Coleção Horizonte arquitetura. Lisboa: Livros Horizonte.
- Costa**, João Pedro. (2013). *Urbanismo e Adaptação às Alterações Climáticas: as Frentes de Água*. Lisboa: Horizonte.
- Crisóstomo**, João. (2015). «Alterações climáticas e subida do nível do mar. Utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) na produção de mapas de vulnerabilidade para o Estuário do Tejo». MasterThesis, ISA-UL. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/12080>.

- Doherty**, Meghan, Kelly Klima, e Jessica J. Hellmann. (2016). «Climate change in the urban environment: Advancing, measuring and achieving resiliency». *Environmental Science & Policy* 66 (Dezembro): 310–13.
- DRE**. (1946). *Portaria 11338*. <https://dre.pt>.
- DRE**. (1995). *Decreto Regulamentar 23/95*. <https://dre.pt>.
- EEA**. (2014). «Urban Storm Water Management in Augustenborg, Malmö». <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/urban-storm-water-management-in-augustenborg-malmo> [consultado a 25 de setembro de 2018].
- EPAL**. (2018). «EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, SA». (2018). 2018. <https://www.epal.pt/EPAL/>
- ETA**. (1999). «Storm Water Technology Fact Sheet - Bioretention». Washington, DC. <https://nepis.epa.gov/> [consultado a 29 de maio de 2019]
- European Commission**. (2018). «Desalination Plants in the Metropolitan Area of Barcelona and by the River Tordera-Projects». 2018. https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/spain/desalination-plants-in-the-metropolitan-area-of-barcelona-and-by-the-river-tordera [consultado a 10 de janeiro de 2019].
- EEA**. (2014). «Urban Storm Water Management in Augustenborg, Malmö». <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/urban-storm-water-management-in-augustenborg-malmo> [consultado a 25 de setembro de 2018].
- EPA, OAR**. (2015). «Atmospheric Lifetime and Global Warming Potential Defined». Overviews and Factsheets. US EPA. 3 de Agosto de 2015. <https://www.epa.gov/climateleadership/atmospheric-lifetime-and-global-warming-potential-defined> [consultado a 30 de abril de 2018].
- Fernandes**, Catarina. (2016). «Beneficiação de Drenagem Pluvial em Bacias Urbanas. Caso de Estudo da Bacia da Ribeira de Albufeira». Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. <https://sotis.tecnico.ulisboa.pt/>
- Fischhoff**, Baruch, e John Kadvaný. (2011). *Risk: A Very Short Introduction*. 1st edition. OUP Oxford.
- Fletcher**, Tim D., William Shuster, William F. Hunt, Richard Ashley, David Butler, Scott Arthur, Sam Trowsdale, et al. (2015). «SUDS, LID, BMPs, WSUD and More – The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage». *Urban Water Journal* 12 (7): 525–42.
- Forman**, Richard T. T. (2014). *Urban ecology: science of cities*. New York: Cambridge University Press.
- Franco**, Maria Luísa Monteiro. (2011). «A estrutura ecológica e os planos regionais de ordenamento do território. Caso de estudo - Área metropolitana de Lisboa». MasterThesis, ISA/UTL. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/4027>.
- Haghighatafshar**, Salar, Beatrice Nordlöf, Maria Roldin, Lars-Göran Gustafsson, Jes la Cour Jansen, e Karin Jönsson. (2018). «Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation – Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden». *Journal of Environmental Management* 207 (Fevereiro): 60–69.
- Hazra**, Moushumi, Kirti Avishek, e Gopal Pathak. (2015). «Phytoremedial Potential of Typha latifolia, Eichornia crassipes and Monochoria hastata found in Contaminated Water Bodies Across Ranchi City (India)». *International journal of phytoremediation* 17 (Setembro): 835–40.
- International ASLA**. (2010). «ASLA 2010 Professional Awards | Shanghai Houtan Park: Landscape as a Living System». 2010. <https://www.asla.org/2010awards/006.html>.
- IPCC**, Bert, e Metz, eds. (2005). *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage*. Cambridge: Cambridge University Press, for the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC**, e Ottmar Edenhofer, eds. (2014). *Climate change 2014: mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, NY: Cambridge University Press.
- IPCC**. (2013a). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Editado por Thomas Stocker. New York: Cambridge University Press.

- IPCC.** (2013b). «Long-Term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility». Em *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por Thomas Stocker, 1029–1128. New York: Cambridge University Press.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1A_R5_Chapter12_FINAL.pdf.
- IPCC.** (2014). «Fifth Assessment Report - Synthesis Report». 2014. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- IPMA.** (2018). «IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera». 2018.
<http://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/clima/index.html> [consultado a 26 de fevereiro de 2019].
- IPMA.** (2019). «IPMA Normais Climáticas». Instituto Português do Mar e da Atmosfera. 2019.
<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1971-2000/012> [consultado a 2 de fevereiro de 2019].
- IWA.** (2017). «Can Rainwater Harvesting Transform Cities into Water-Wise Cities?» International Water Association. 2017. <https://iwa-network.org/can-rainwater-harvesting-transform-cities-into-water-wise-cities/> [consultado a 2 de fevereiro de 2019].
- Jenkins, Dr Amber.** (2009). «*The acid test*». Climate Change: Vital Signs of the Planet. 2009.
<https://climate.nasa.gov/blog/182> [consultado a 7 de junho de 2018].
- Jia, Haifeng, Zheng Wang, Xiaoyue Zhen, Mike Clar, e Shaw L. Yu.** (2017). «*China's Sponge City Construction: A Discussion on Technical Approaches*». *Frontiers of Environmental Science & Engineering* 11 (4): 18.
- Khandare, Rahul V., Shaileshkumar B. Desai, Sourabh S. Bhujbal, Anuprita D. Watharkar, Shivtej P. Biradar, Pankaj K. Pawar, e Sanjay P. Govindwar.** (2017). «Phytoremediation of Fluoride with Garden Ornamentals Nerium Oleander, Portulaca Oleracea, and Pogonatherum Crinitum». *Environmental Science and Pollution Research* 24 (7): 6833–39.
- Landezine.** (2011). «Shanghai Houtan Park». *Landzine* (blog). 22 de Fevereiro de 2011.
<http://www.landzine.com/index.php/2011/02/shanghai-houtan-park-by-turenscape/> [consultado a 14 de janeiro de 2019].
- Leboeuf, Yohann, Zélia Fernandes, João Guimarães, Joana Simões, Patrícia Ribeiro, Filipa Ferreira, Rodrigo Proença de Oliveira, António Monteiro, e José Saldanha Matos.** (2015). «Plano Geral de Drenagem de Lisboa 2016-2030». <http://www.cm-lisboa.pt/participar/lisboa-em-debate/plano-drenagem>.
- Leto, Claudio, Teresa Tuttolomondo, Salvatore La Bella, Raffaele Leone, e Mario Licata.** (2013). «Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland – phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy)». *Ecological Engineering* 61 (Dezembro): 282–91.
- Lima, João Pedroso de, M. Fátima Coelho, S Cunha, e Álvaro Silva.** (2013). «Tendências nos extremos de precipitação em Portugal Continental em 1941-2012»: 325–37.
- Madanipour, Ali.** (2015). «*Urban Design and Public Space*». Em *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 789–94. Elsevier.
- Madanipour, Ali.** (2018). «*What is Public Space?*» apresentado na Para que serve o Espaço Público? Depende..., Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, Outubro 8.
<http://psss.tecnico.ulisboa.pt/pt/2018/05/30/conferencia-final-psss-8-e-9-de-outubro-2018/>.
- Malaviya, Piyush, e Asha Singh.** (2012). «Constructed Wetlands for Management of Urban Stormwater Runoff». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 42 (20): 2153–2214.
- Silva, Maria Matos.** (2016). «Public Space Design for Flooding: Facing the Challenges Presented by Climate Change Adaptation». Barcelona: Universitat de Barcelona.
<http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/106707>.
- Silva, Maria Matos, e João Pedro Costa.** (2016). «Flood Adaptation Measures Applicable in the Design of Urban Public Spaces: Proposal for a Conceptual Framework». *Water* 8 (7): 284.
- Silva, Maria Matos, e João Pedro Costa.** (2017). «Urban Flood Adaptation through Public Space Retrofits: The Case of Lisbon (Portugal)». *Sustainability* 9 (5): 816.
- NOAA.** (2018) «What's the Difference between Climate and Weather? | NOAA Climate.gov».
<https://www.climate.gov/maps-data/primer/comparing-climate-and-weather> [consultado a 31 de março de 2018].

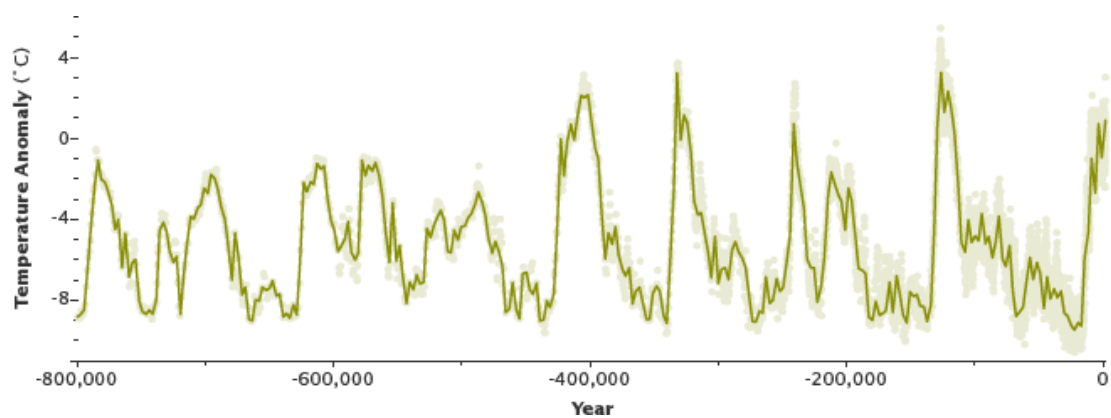
- NASA Global Climate Change.** (2018). «Carbon dioxide concentration | NASA Global Climate Change». Climate Change: Vital Signs of the Planet. 2018. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide> [consultado a 1 de junho de 2018].
- NASA Global Climate Change,** e Sullivant, Rosemary. (2008). «Climate change seeps into the sea». Climate Change: Vital Signs of the Planet. 20 de Outubro de 2008. <https://climate.nasa.gov/news/13/climate-change-seeps-into-the-sea> [consultado a 13 de maio de 2018].
- NASA.** (2019a). «Climate change evidence: How do we know?» Climate Change: Vital Signs of the Planet. 2019. <https://climate.nasa.gov/evidence> [consultado a 25 de março de 2018].
- NASA.** (2018a). «Global climate change adaptation and mitigation». Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/solutions/adaptation-mitigation> [consultado a 17 de Abril de 2018].
- NASA** (2018b) «The Greenhouse Effect». sem data. Acedido 26 de Março de 2018. <https://spaceplace.nasa.gov/greenhouse/en/>.
- NACTO.** (2017). *Urban Street Stormwater Guide*. 2nd None ed. edition. Washington, DC: Island Press.
- National Geography.** (2017). «Ocean Habitats and Information». National Geographic. 5 de Janeiro de 2017. <https://www.nationalgeographic.com/environment/habitats/ocean/> [consultado a 11 de Junho de 2018].
- NYC,** City of New York. (2010). «NYC Green Infrastructure Plan». http://www.nyc.gov/html/dep/html/stormwater/nyc_green_infrastructure_plan.shtml.
- NYC Environmental Protection.** (2014). «Green Infrastructure Grant Program: Stormwater Calculations Workshop». http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/grant-program-stormwater-calculations-workshop.pdf [consultado a 3 de março de 2018].
- Oliveira,** Diamantino. (2013). «O risco de inundação urbana nas frentes de água de deltas e estuários em cenários de alterações climáticas. A frente ribeirinha de Lisboa». MasterThesis, ISA. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/6118>.
- Oliveira,** Fedra. (2008). «Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade». Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/thesis/2353642185826>.
- Otto-Zimmermann,** Konrad, ed. (2012). *Resilient Cities 2*. Vol. 2. Local Sustainability. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Pachauri,** R. K., Leo Mayer, e Intergovernmental Panel on Climate Change, eds. (2015). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Paprotny,** Dominik, Antonia Sebastian, Oswaldo Morales-Nápoles, e Sebastiaan N. Jonkman. (2018). «Trends in Flood Losses in Europe over the Past 150 Years». *Nature Communications* 9 (1): 1985.
- Parry,** M. L., e Intergovernmental Panel on Climate Change, eds. (2007). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, U.K.; New York: Cambridge University Press.
- IPMA.** (2019). «PORTAL DO CLIMA». 2019. <http://portaldoclima.pt/en/> [consultado a 19 de janeiro de 2018].
- Ramos,** Catarina. (2013). «Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações». *e-LP Engineering and Technology Journal* 4 (Junho): 16.
- Riebeek,** Holli. (2008). «The Ocean's Carbon Balance: Feature Articles». Text.Article. NASA Observatory. 1 de Julho de 2008. <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/OceanCarbon/> [consultado a 18 de Junho de 2018].
- Rodrigues,** Jenifer Ema Gray. (2017). «Water Sensitive Cities: A Vision for Lisbon's Alcântara Watershed». MasterThesis, ISA. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/15108>.
- Saldanha,** José Matos, Filipa Ferreira, António Jorge Monteiro, Rodrigo Proença de Oliveira, e Rui Marques. (2008). «Perspectiva Histórica e Evolução do Saneamento de Águas Residuais na Cidade de Lisboa». Disponível em <http://www.cm-lisboa.pt/participar/lisboa-em-debate/plano-drenagem>.
- Santos,** Filipe Duarte, ed. (2006). *Alterações climáticas em Portugal: cenários, impactos e medidas de adaptação; Projecto SIAM II*. 1. ed. Lisboa: Gradiva.

- Satoh**, Masayoshi, e Samir Aboulroos. (2017). *Irrigated Agriculture in Egypt: Past, Present and Future*. <http://site.ebrary.com/id/11359596>.
- Saurí**, David, e L. Palau-Ro. (2017). «Urban drainage in barcelona: From hazard to resource?» *Water Alternatives* 10 (Junho): 475–92.
- Scaife**, Adam A., Thomas Spanghehl, David R. Fereday, Ulrich Cubasch, Ulrike Langematz, Hideharu Akiyoshi, Slimane Bekki, et al. (2012). «Climate Change Projections and Stratosphere–Troposphere Interaction». *Climate Dynamics* 38 (9): 2089–97.
- Schuetze**, T. (2013). «Rainwater Harvesting and Management – Policy and Regulations in Germany». *Water Science and Technology: Water Supply* 13 (2): 376–85.
- Siegrist**, Michael, e Heinz Gutscher. (2006). «Flooding Risks: A Comparison of Lay People’s Perceptions and Expert’s Assessments in Switzerland». *Risk Analysis* 26 (4): 971–79.
- Silva-Afonso**, Armando, ed. (2009). «ETA 0701». Disponível em https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/2166/2/ETA_0701.pdf [consultado a 2 de maio de 2019].
- Singh**, Nandita. (2016). «Climate Change and Human Right to Water: Problems and Prospects». Em *The Human Right to Water: From Concept to Reality*, 83–103. Cham: Springer International Publishing.
- Sousa**, Edurado Ribeiro. (2001). «Sistemas de Drenagem de Águas Residuais e Pluviais». 20. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571269321/ES_1_Concepcao_Sistemas_Drenagem.pdf.
- Stocker**, Thomas, ed. (2014). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- Syranidou**, Evdokia, Stavros Christofilopoulos, e Nicolas Kalogerakis. (2016). «Juncus spp.—The helophyte for all (phyto)remediation purposes?» *New Biotechnology* 38 (Dezembro).
- Tamaki**, Tetsuya, Wataru Nozawa, e Shunsuke Managi. (2017). «Evaluation of the ocean ecosystem: Climate change modelling with backstop technologies». *Applied Energy* 205 (Novembro): 428–39.
- Tedje Natur**. (2014). «ENGHAVEPARKEN NOW». *TREDJE NATUR* (blog). 2014. <https://www.tredjenatur.dk/en/portfolio/enghaveparken-now/> [consultado a 5 de janeiro de 2019].
- UMass**. (2018). «JOHN W. OLVER DESIGN BUILDING - Facilities & Campus Services - UMass Amherst». 2018. <https://www.umass.edu/cp/john-w-olver-design-building> [consultado a 11 de abril de 2019].
- UN**. (2018). «Mitigation». UN Environment. <http://www.unenvironment.org/explore-topics/climate-change/what-we-do/mitigation> [consultado a 18 de abril de 2018].
- UNFCCC**. (2007). «Bali Action Plan». Em Conference of the Parties. 60. Bali, Indonesia: UN.
- UNFCCC**. (2015). «The Paris Agreement». UNFCCC. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> [consultado a 23 de abril de 2019].
- UTAD**. (2019a). «Fraxinus angustifolia subesp. angustifolia». Jardim Botânico UTAD. 2019. https://jb.utad.pt/especie/Fraxinus_angustifolia_subesp_angustifolia [consultado a 6 de fevereiro de 2019].
- UTAD**. (2019b). «Populus nigra». Jardim Botânico UTAD. 2019. https://jb.utad.pt/especie/Populus_nigra [consultado a 5 de fevereiro de 2019].
- Whitlam**, John, ed. (2012). *Oxford Essential Portuguese Dictionary: Portuguese-English, English-Portuguese = Portugues-Ingles, Ingles-Portugues*. 2. ed. Oxford New York: Oxford University Press.
- WMO**, Svoboda, Mark, Michael Hayes, e Deborah A. Wood. (2012). Standardized Precipitation Index User Guide. WMO. WMO. http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1090_en.pdf [consultado a 1 de março de 2019].
- Yvon-Durocher**, Gabriel, Andrew P. Allen, David Bastviken, Ralf Conrad, Cristian Gudas, Annick St-Pierre, Nguyen Thanh-Duc, e Paul A. del Giorgio. (2014). «Methane Fluxes Show Consistent Temperature Dependence across Microbial to Ecosystem Scales». *Nature* 507 (7493): 488–91.

Índice de Anexos

Anexo 1.	Estimativa da evolução da temperatura do ar nos últimos 800 mil anos	85
Anexo 2.	Variação da temperatura do ar após a invenção dos instrumentos de medição de temperatura.....	85
Anexo 3.	Concentração de dióxido de carbono na atmosfera nos últimos 400 mil anos.....	86
Anexo 4.	Concentração de dióxido de carbono na atmosfera para o período entre 2006 e 2018	86
Anexo 5.	Soma das emissões antropogénicas anuais dos principais GEE por grupos de gases entre 1970 e 2010.....	87
Anexo 6.	Representação dos valores anuais de emissões de GEE associados aos quatro cenários RCP (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) entre o presente e 2100.....	87
Anexo 7.	Comparação entre projeções climáticas para a precipitação média de inverno na região do continente europeu calculadas com base em modelos standard e nos modelos defendidos por Scaife et al.	88
Anexo 8.	Comparação entre projeções climáticas para eventos de precipitação extrema de inverno (%) na Europa calculadas com base no modelo standard e no modelo defendido por Scaife et al.	89
Anexo 9.	Exemplos de impactos globais em vários setores de acordo com as alterações climáticas, mais propriamente o aumento das temperaturas médias à superfície para o século XXI.....	89
Anexo 10.	Imagens complementares das obras e projetos de referência	90
Anexo 11.	Carta de Riscos Naturais e Antrópicos I para a cidade de Lisboa.....	93
Anexo 12.	Carta de declives da cidade de Lisboa.....	94
Anexo 13.	Tabela das ocorrências de inundações em espaço público, no cruzamento das avenidas Gago Coutinho e EUA, facultada pelo RSB.....	95
Anexo 14.	A03 – Plano de pormenores de construção.....	96
Anexo 15.	B04 – Perfis altimétricos.....	97
Anexo 16.	B05 – Planos de pormenores de construção.....	98
Anexo 17.	C04 – Perfis altimétricos e pormenores de construção.....	99

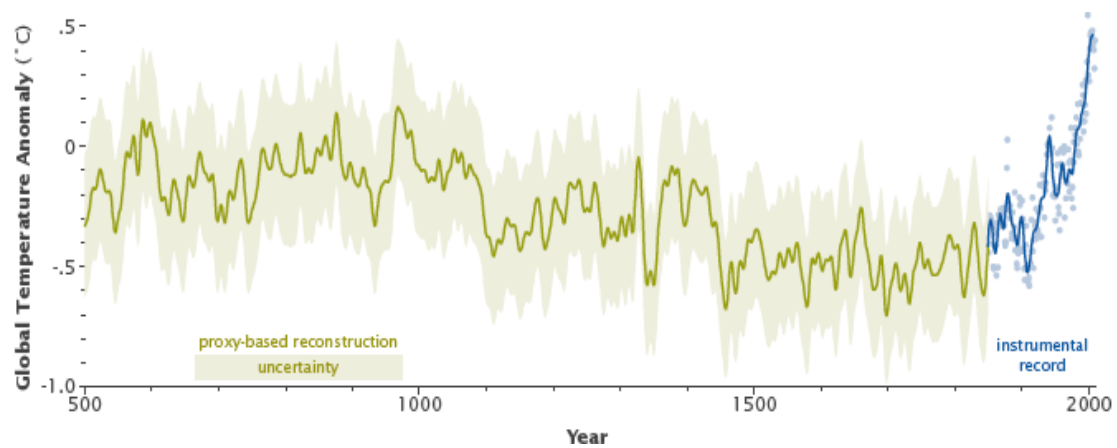
Anexo 1



Estimativa da evolução da temperatura média do ar [eixo Y] nos últimos 800 mil anos [eixo X].

[Fonte: NASA Earth Observatory, 2010]

Anexo 2

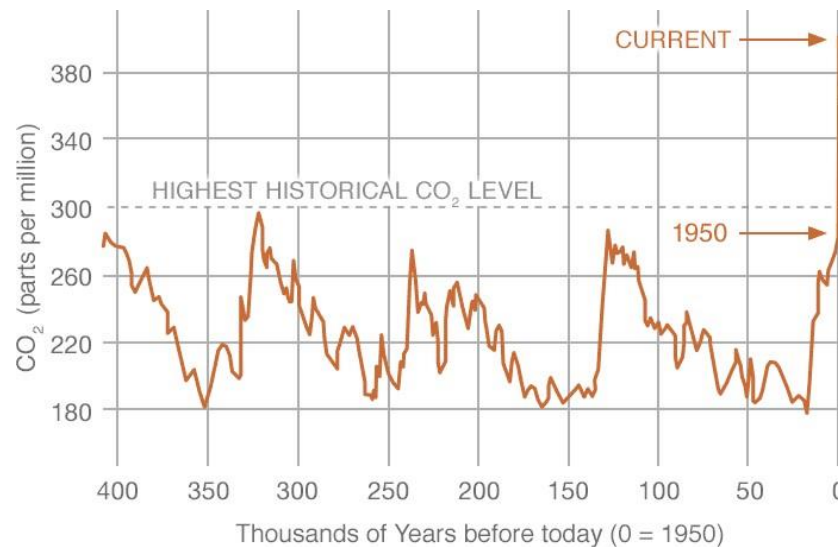


Varição da temperatura do ar [eixo Y] após a invenção dos instrumentos de medição da temperatura.

É de notar um aumento súbito na temperatura num curto período de tempo.

[Fonte: NAOO, 2018]

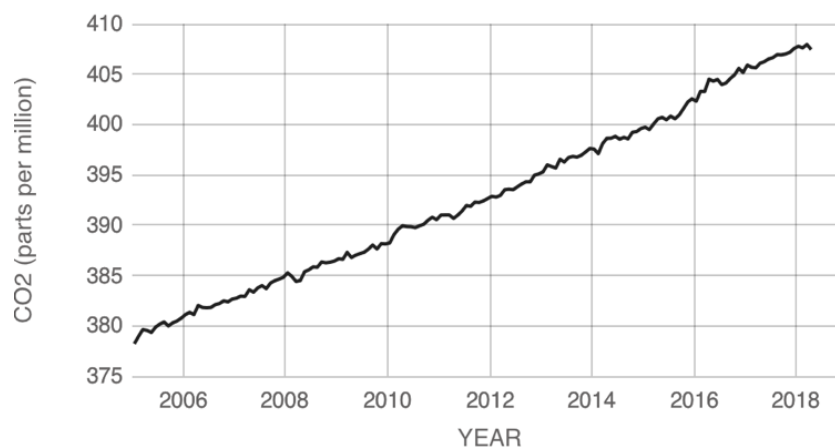
Anexo 3



Concentração de dióxido de carbono na atmosfera [eixo Y] nos últimos 400 mil anos [eixo X]. Através do interior de perfis de gelo foi possível reconstruir este gráfico, onde mostra o valor mais elevado de CO₂ na atmosfera dos últimos 400 mil anos. No entanto, desde a revolução industrial, esse valor já foi há muito ultrapassado. O CO₂ é, atualmente, o gás responsável por grande do aumento do efeito de estufa registado nas últimas décadas.

[Fonte: *climate.nasa.gov*, 2018]

Anexo 4

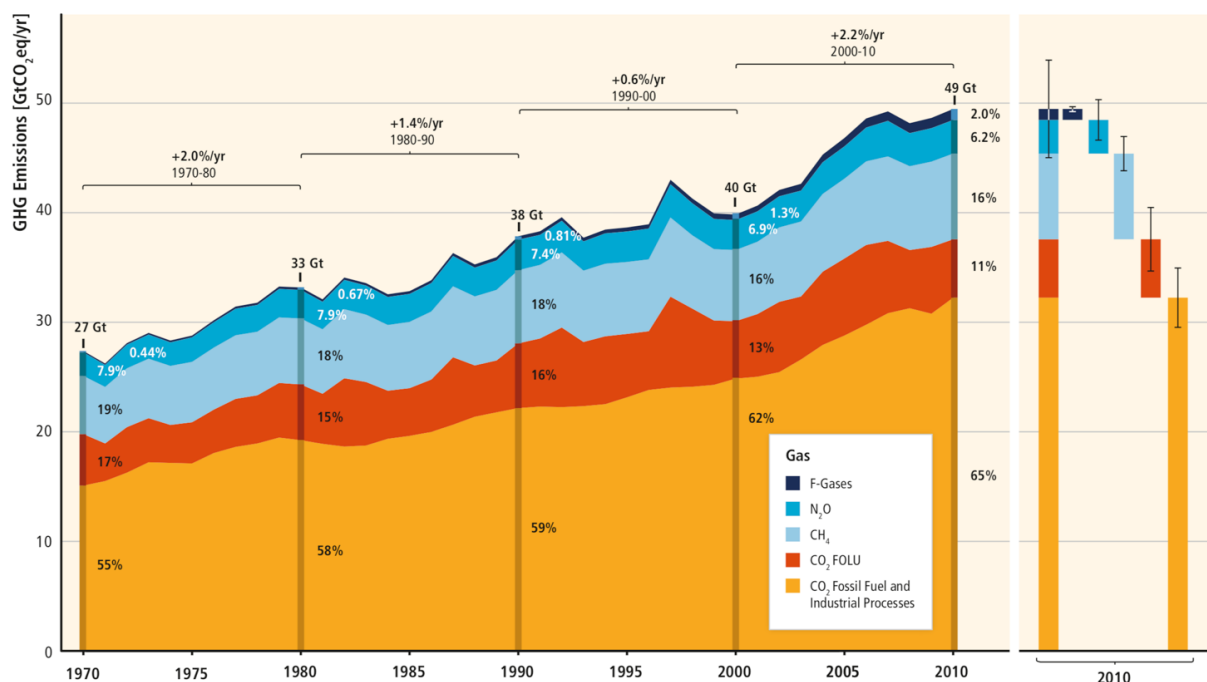


Concentração de dióxido de carbono na atmosfera [eixo Y] para o período entre 2006 e 2018 [eixo X]. Desde 2006 já foram publicados pelo IPCC dois Relatórios de Avaliação, o quarto em 2007 e o quinto em 2013/2014. Apesar dos estudos e publicações, os esforços políticos revelam-se insuficientes para contrariar esta tendência de contínua emissão de CO₂.

[Fonte: *climate.nasa.gov*, 2018 – medições efetuadas no observatório Mauna Loa, Hawaii]

Anexo 5

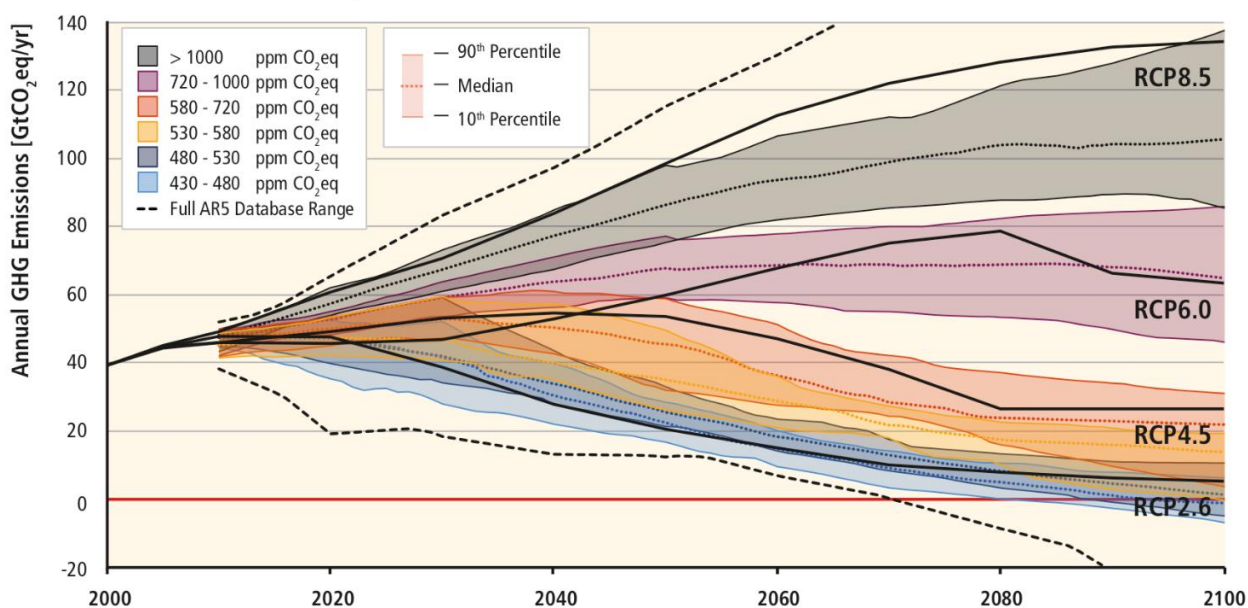
Total Annual Anthropogenic GHG Emissions by Groups of Gases 1970-2010



Soma das emissões antropogênicas anuais dos principais GEE por grupos de gases [eixo Y] entre 1970 e 2010 [eixo X]: dióxido de carbono da queima de combustíveis fósseis (CO₂); dióxido de carbono de atividades florestais e outros usos do solo (CO₂ FOLU); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); gases fluorados (F-gases) abrangidos pelo protocolo de Kyoto.
[Fonte: IPCC e Edenhofer, 2014, 42]

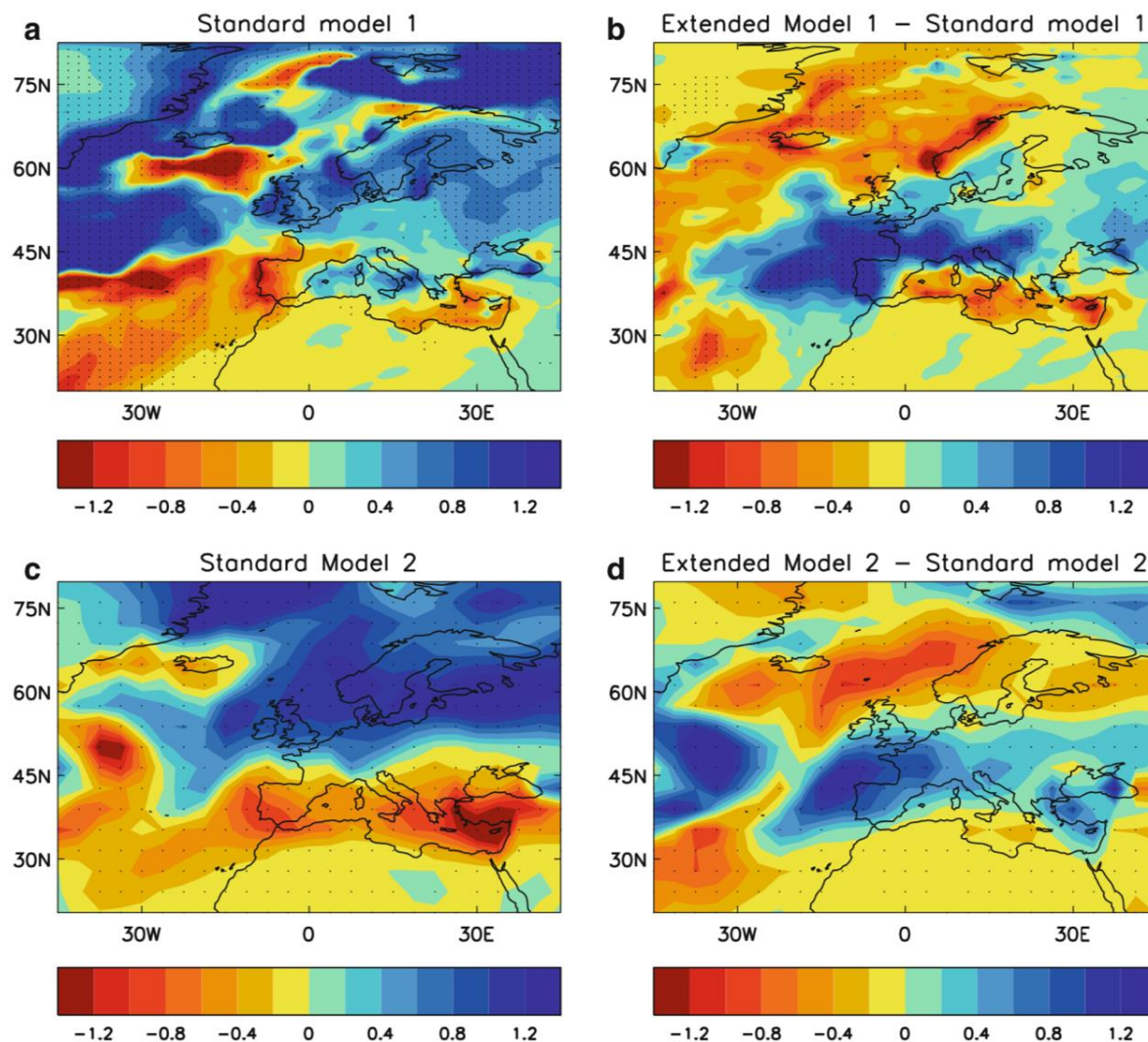
Anexo 6

GHG Emission Pathways 2000-2100: All AR5 Scenarios



Representação dos valores anuais de emissões de GEE (GtCO₂ eq/ano) [eixo Y] associados aos quatro cenários RCP (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) entre o presente e 2100 [eixo X]. CO₂eq – unidade que determina o potencial para o aquecimento global (GWP) e mede o impacto relativo que 1 tonelada de um GEE comparativamente ao impacto que tem 1 tonelada de CO₂.
[Fonte: IPCC, 2014, p11]

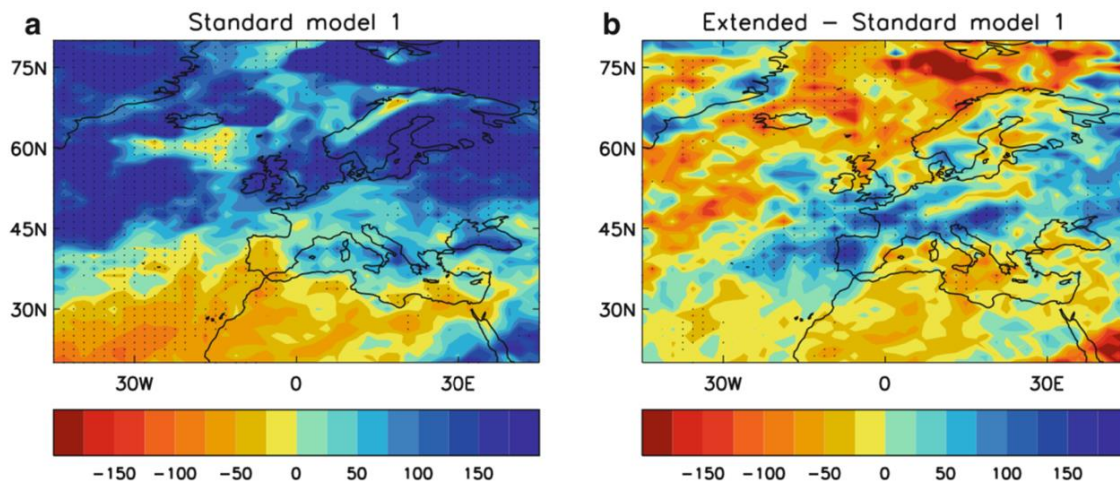
Anexo 7



Comparação das projeções climáticas para a precipitação média de inverno (mm/dia) na região do continente europeu calculadas com base em modelos *standard* e nos modelos defendidos por Scaife *et al.* As projeções à esquerda (a e c) foram calculadas usando os modelos *standard*, HadGEM e EGMAM, respetivamente, e as projeções da direita (b e d) foram calculadas usando os modelos *extended*. As projeções referentes aos modelos *standard* foram calculadas para 24 anos, e as projeções dos modelos *extended* para 30 anos.

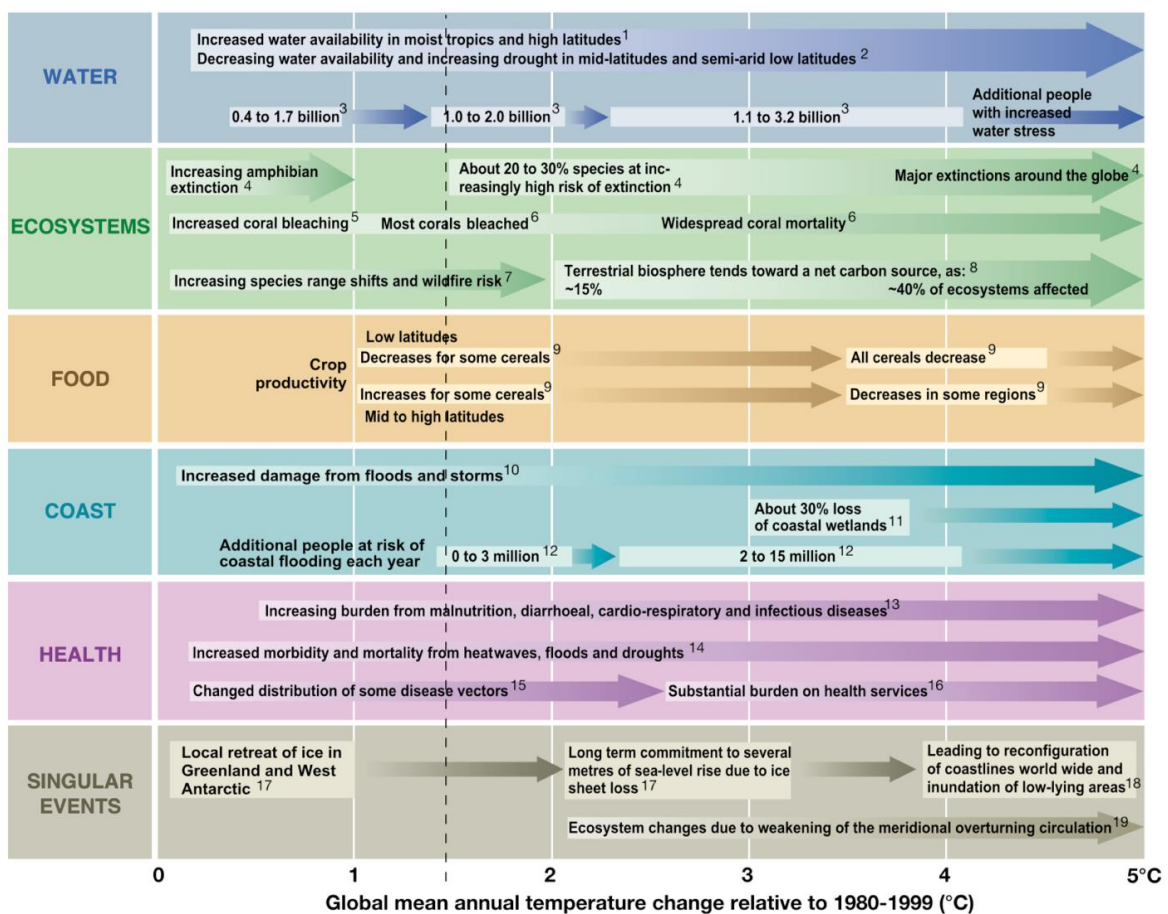
[Fonte: Scaife *et al.*, 2012, p. 2094]

Anexo 8



Comparação das projeções climáticas para eventos de precipitação extrema de inverno (%) na Europa calculadas com base no modelo *standard* e no modelo defendido por Scaife *et al.* A projeção à esquerda (a) foi calculada usando o modelo HadGEM e a projeção da direita (b) foi calculada usando o modelo *extended*. A projeção referente ao modelo *standard* foi calculada para 24 anos, e a projeção do modelo *extended* para 30 anos. [Fonte: Scaife *et al.*, 2012, p. 2095]

Anexo 9



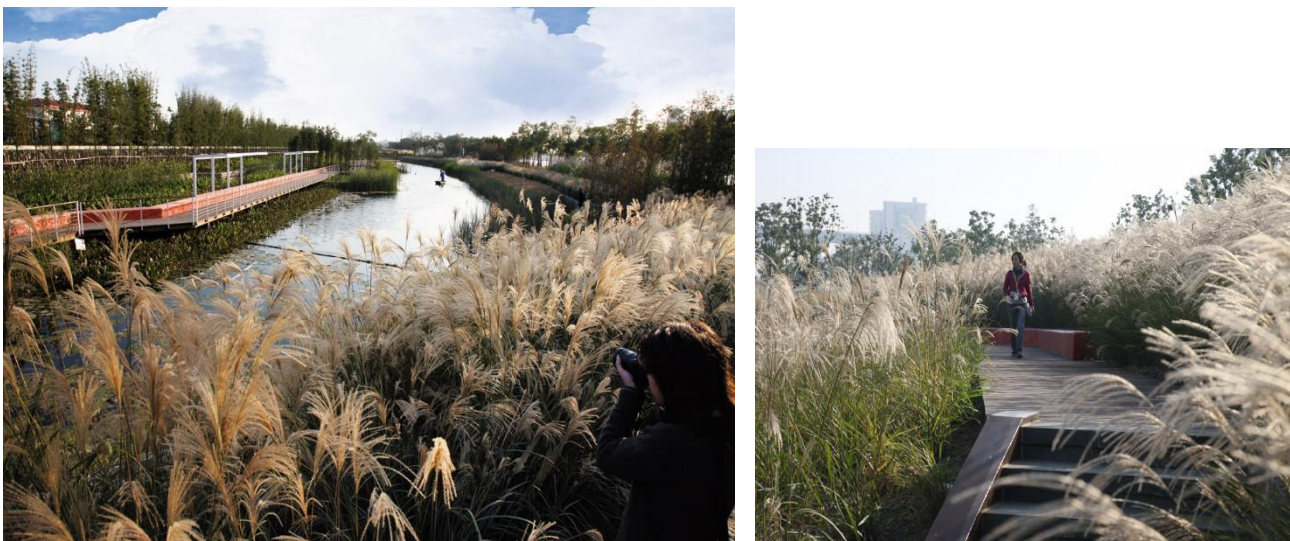
Exemplos de impactos globais em vários setores de acordo com as alterações climáticas, mais propriamente o aumento das temperaturas médias à superfície para o século XXI, em que a variação do aumento das temperaturas varia entre 0 e 5 °C (eixo X) e o primeiro setor dá a concluir muito sucintamente que países como Portugal, por estar a uma média latitude, irá ter disponíveis menos quantidades de água e uma maior tendência para períodos de seca. [Fonte: IPCC, 2007, p. 66]

Anexo 10

Houtan Park, Shanghai, China

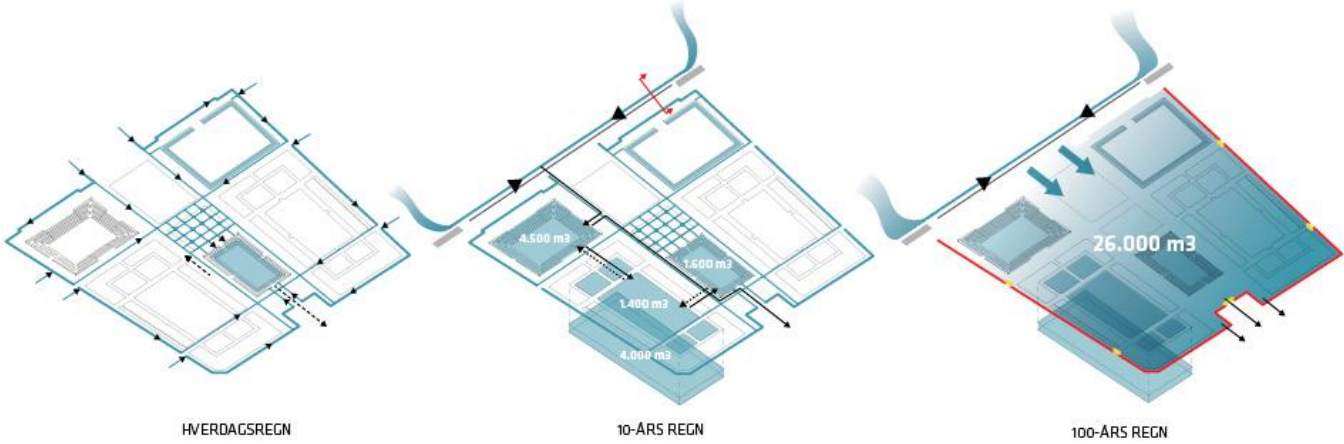


Plano geral do parque. [Fonte: https://encuentura.wordpress.com/2014/11/24/water-purification_-shanghai-houtan-park-landscape-as-a-living-system/]



Fotografias no interior do parque. [Fonte: <http://www.landezine.com/index.php/2011/02/shanghai-houtan-park-by-turenscape/>]

Enghaveparken Now, Copenhagen, Dinamarca



Desenho esquemático da dinâmica do processo de inundação. [Fonte: <https://www.tredjenatur.dk/en/portfolio/enghaveparken-now/>]



Simulação digital da vista aérea do parque. [Fonte: <https://www.tredjenatur.dk/en/portfolio/enghaveparken-now/>]



Simulação digital da comparação do mesmo espaço inundado e seco. [Fonte: <https://www.tredjenatur.dk/en/portfolio/enghaveparken-now/>]

UMass Design Building, Massachusetts, EUA



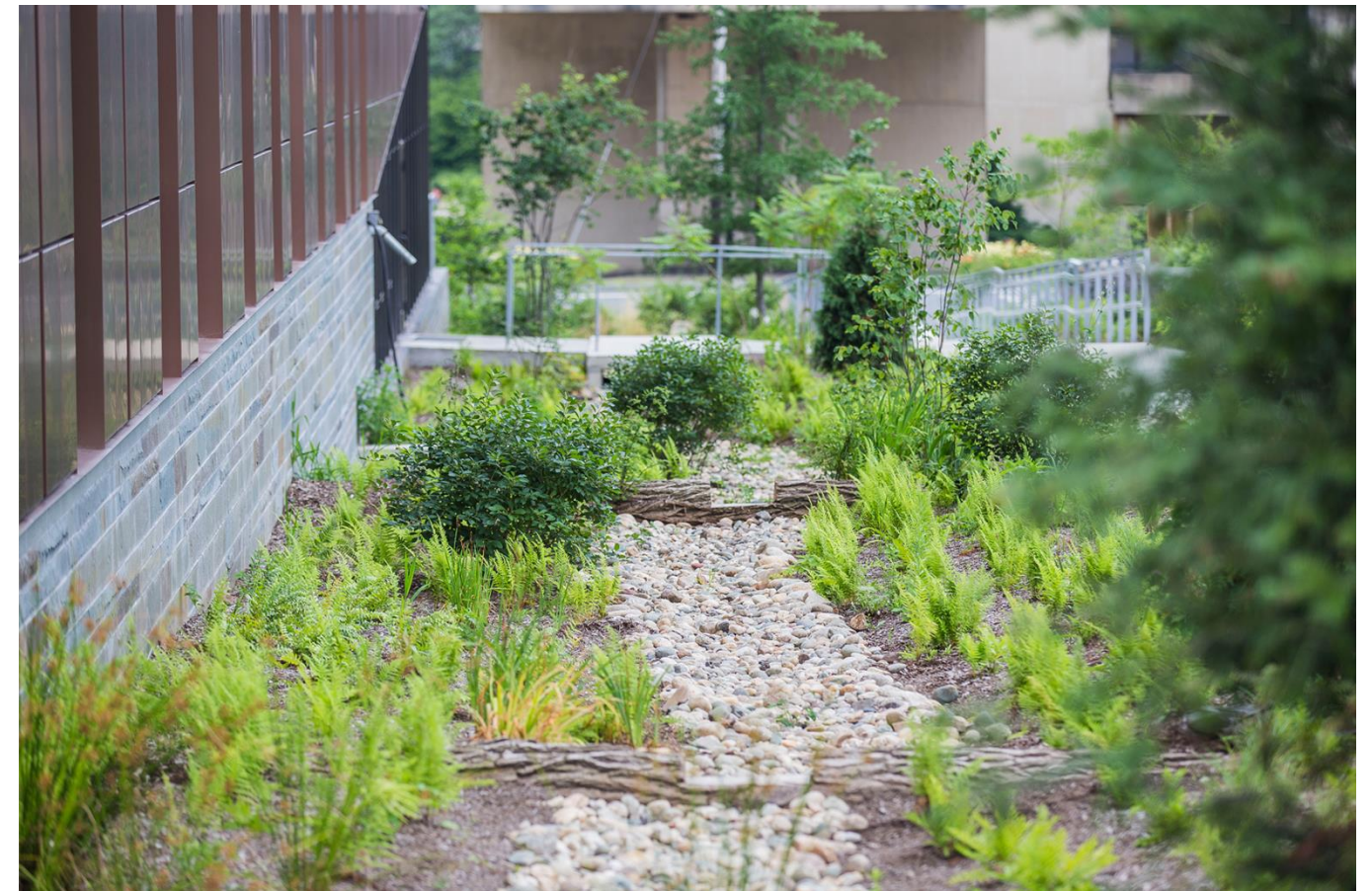
Perfil altimétrico da morfologia do terreno onde o edifício se encontra.

[Fonte: <https://www.stimsonstudio.com/umass-design-building>]



Fotografia à zona mais baixa do jardim que envolve o edifício.

[Fonte: <https://www.stimsonstudio.com/umass-design-building>]



Fotografia de uma das laterais do edifício. Nesta imagem é visível um dos percursos do jardim por onde a água escorre, lentamente, até chegar à zona baixa. É de destacar o leito em seixo rolado e os dois degraus utilizados para abrandar o escoamento da água, não só como técnica de combate à erosão do solo, mas também para promover a precipitação de detritos sólidos.

[Fonte: <https://www.stimsonstudio.com/umass-design-building>]

Praça de Espanha, Lisboa, Portugal



Ilustração da praça de Espanha em vista aérea.
[Fonte: screenshot do vídeo disponível em <https://vimeo.com/316567197>, publicado pela CML]



Ilustração do centro da praça, onde é visível a linha de água renaturalizada.
[Fonte: <https://tvi24.iol.pt/sociedade/nova-praca-de-espanha/a-praca-de-espanha-vai-ficar-assim>]



Ilustração da praça de Espanha em vista aérea.
[Fonte: <https://expressodooriental.com/nova-praca-de-espanha-tera-ponete-pedonal/>]

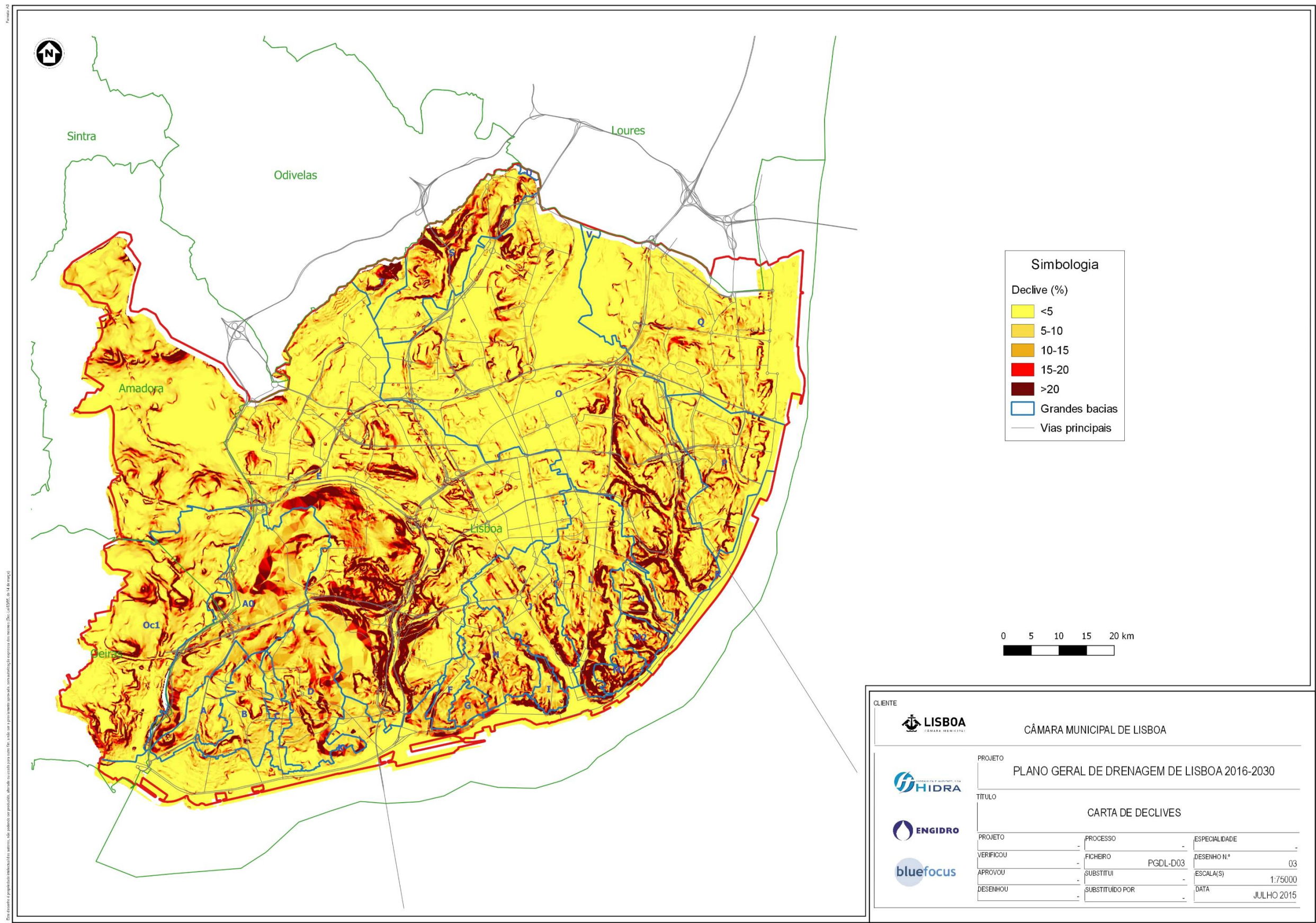
Chand Baori, Bandikui, Índia



Fotografia no interior do *Chand Baori*. Atualmente cumpre apenas funções de ponto de turismo.
[Fonte: <https://tvi24.iol.pt/sociedade/nova-praca-de-espanha/a-praca-de-espanha-vai-ficar-assim>]

Anexo 11



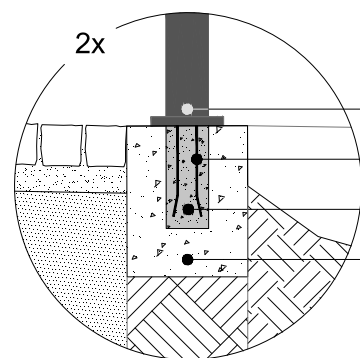
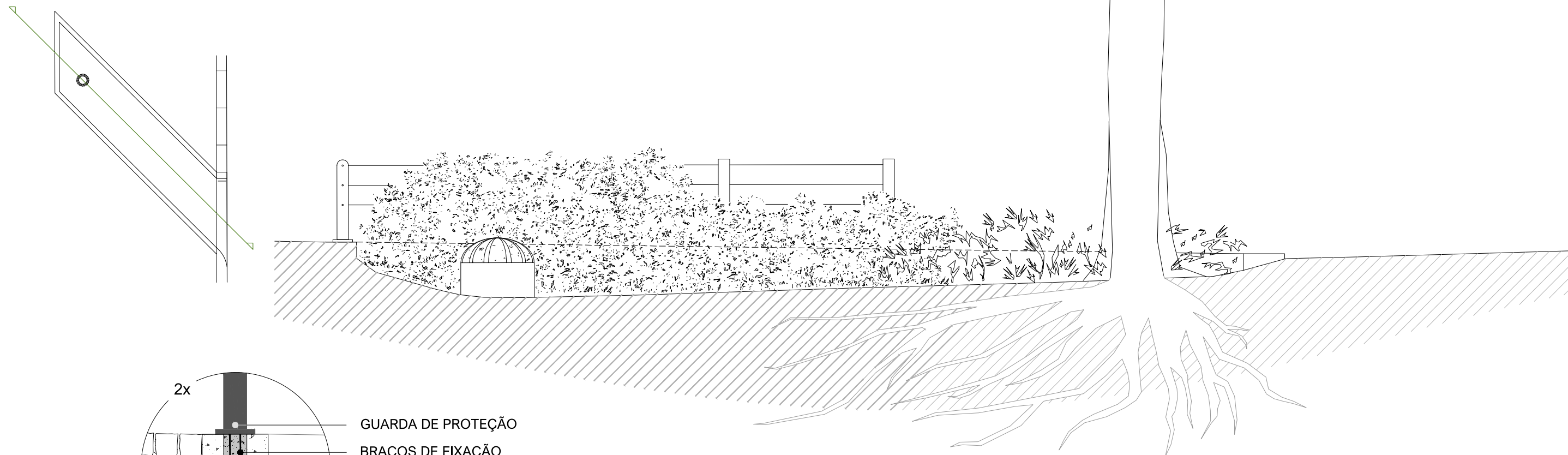


Carta de declives da cidade de Lisboa.
[Fonte: PGDL 2016-20130, CML]

Anexo 13

#	Localização	Coordenadas	Data	Hora	Descrição COS
1	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7481; -9.131003013	31/12/2010	01:53	... de um lençol de água na via pública, devido as sarjetas estarem cobertas de lixo, ...
2	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7488; -9.130977945	24/10/2011	05:07	... inundação na via pública (sarjetas entupidas).
3	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7488; -9.130977945	27/10/2011	04:51	Tratava-se de inundação na via pública, originada por entupimento das sarjetas.
4	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7485; -9.131299997	02/11/2011	11:16	sarjetas entupidas
5	Av. Alm. Gago Coutinho	38.7491; -9.130932002	24/12/2013	16:49	... tratou-se de várias tampas de sarjeta entupidas devido à acumulação de folhas.
6	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7491; -9.13094119	04/01/2014	09:38	... sarjeta entupida ...
7	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7517; -9.130600875	18/10/2015	07:54	... inundação provocada pela acumulação de lixo e folhas nas sarjetas. As sarjetas junto do local referido foram limpas para permitir o escoamento da água
8	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7487; -9.130951776	04/01/2016	07:33	rotura na canalização geral sob o passeio na via pública, que inundou duas faixas de rodagem da Avenida Almirante Gago Coutinho junto à Avenida Estados Unidos da América ... facilitar o escoamento das águas foram retiradas pelo pessoal e material do RSB as grades dos sumidouros existentes no local.
9	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7488; -9.131197254	15/04/2016	13:09	... as sarjetas não davam escoamento suficiente...
10	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7488; -9.130893278	20/11/2016	14:54	... sarjeta entupida.
11	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7488; -9.13097902	21/11/2016	00:24	... inundação na faixa de rodagem devido a várias sarjetas entupidas por folhagens.
12	Av. dos Estados Unidos da América;	38.7488; -9.13097902	25/11/2016	06:40	... inundação da via publica devido acumulação de lixo diverso e material inerte nas grelhas de escoamento das aguas pluviais.
13	Av. Alm. Gago Coutinho;	38.7535; -9.130587079	11/11/2018	12:33	... na Avenida Almirante Gago Coutinho, em ambos os sentidos, e na saída para a Avenida Marchal António Spínola, verificamos ao chegar ao local, tratar-se de inundação na via pública. Informo que no sentido Aeroporto-Areeiro, encontravam-se há nossa chegada 3 viaturas, parcialmente inundadas, paradas, ... Pelo pessoal e material do R.S.B. as grelhas dos sumidouros águas pluviais de ambos os lados, foram levantadas, permitindo o escoamento mais rápido das águas existentes, retornando a normalidade.
14	Av. Alm. Gago Coutinho;	38.7544; -9.130438882	18/11/2018	07:39	... sarjeta na via publica entupida devido ao acumular de folhas sobre a mesma.
15	Cruz. Av. Gago C. e Av. EUA	38.7476; -9.127733902	29/11/2018	17:14	(...) tratar-se de um lençol de água na faixa de rodagem, com cerca de 20m ² de extensão (...) foi feita a limpeza de uma sarjeta, escoamento feito, ficou normalizada a situação.

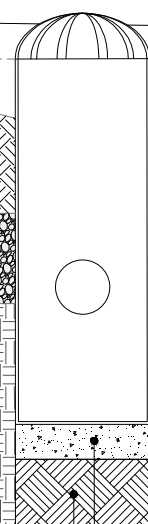
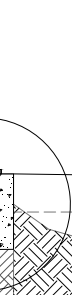
Tabela das ocorrências de inundações em espaço público, no cruzamento das avenidas Gago Coutinho e EUA, facultada pelo RSB.
[Fonte: PGDL 2016-2013, CML]



GUARDA DE PROTEÇÃO
BRAÇOS DE FIXAÇÃO
FUNDAÇÃO DE FIXAÇÃO
FUNDAÇÃO EM BETÃO SIMPLES

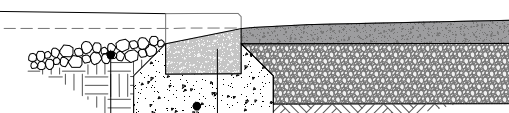
2%
0.05
0.40

CALÇADA MIÚDA DE CALCÁRIO BRANCO 5/7
AREIA E CIMENTO traço seco 1:5
"TOUT-VENANT" REGADO E COMPACTADO
TERRENO NATURAL BEM COMPACTADO



FUNDAÇÃO EM BETÃO SIMPLES
TERRENO NATURAL BEM COMPACTADO

TERRA VEGETAL (POROSIDADE 25%)
GRAVILHA (POROSIDADE 50%)
TERRENO NATURAL



LANCIL PERMEÁVEL
FUNDAÇÃO EM BETÃO SIMPLES
TERRENO NATURAL BEM COMPACTADO
SEIXO ROLADO

Anexo 14

DESENHO:
PLANO DE PORMENORES DE CONSTRUÇÃO
TIPOLOGIA DE CALDEIRA DE BIORETENÇÃO

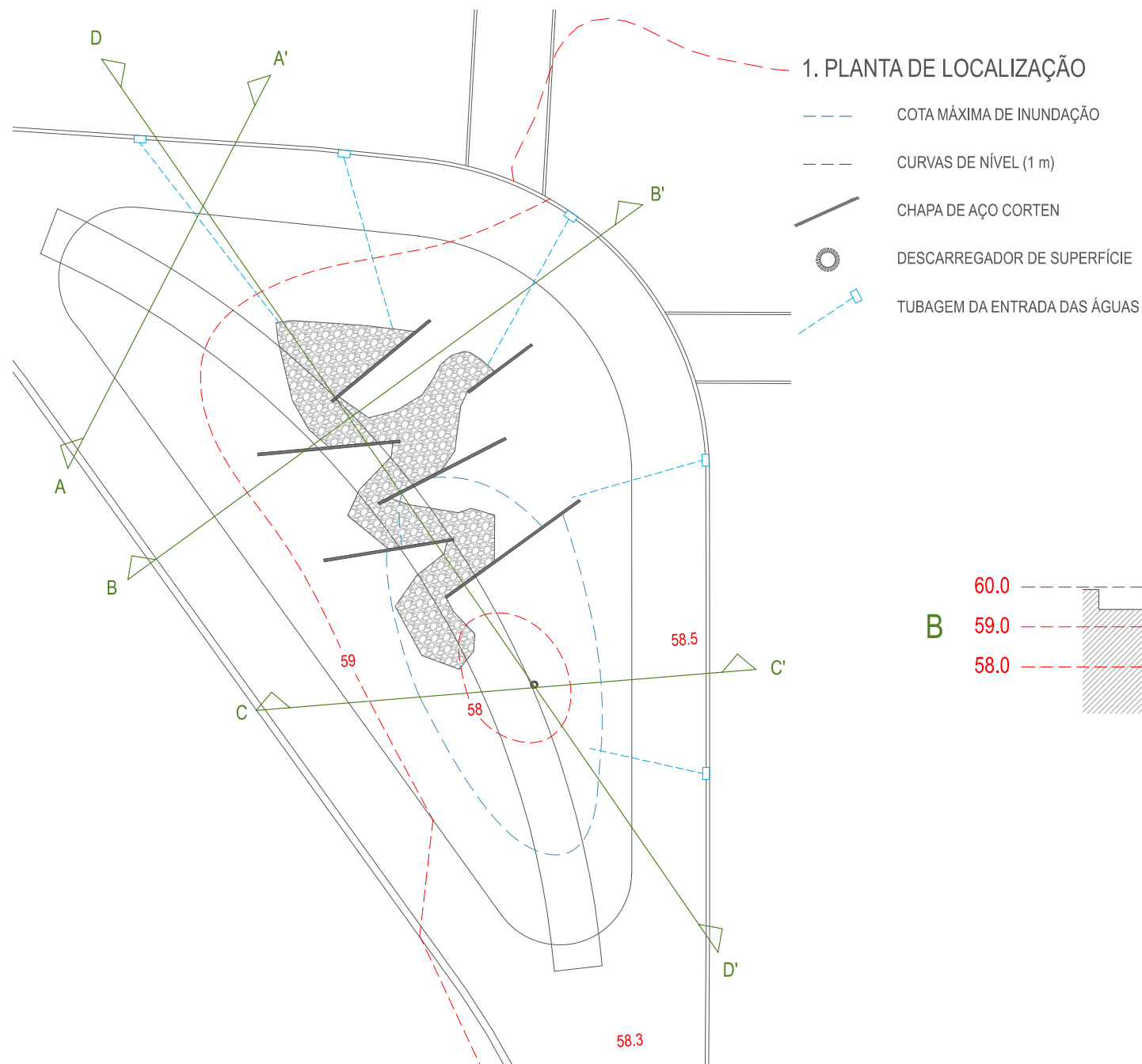
LOCALIZAÇÃO:
AV. ALMIRANTE GAGO COUTINHO

03A

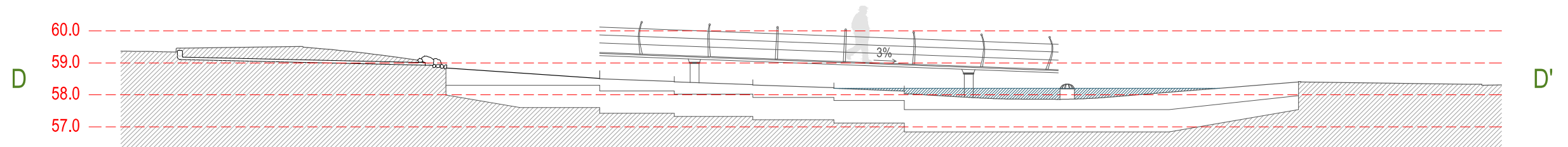
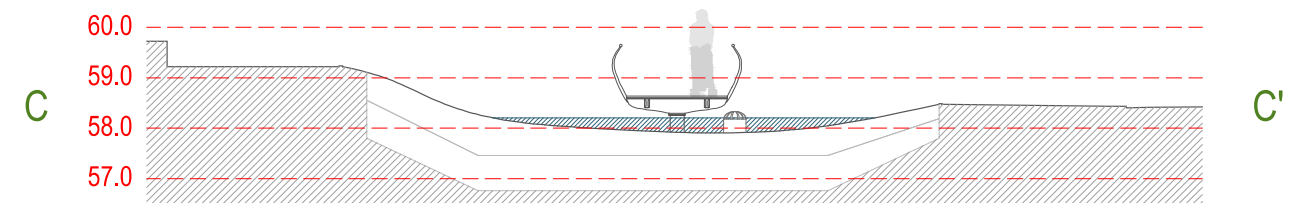
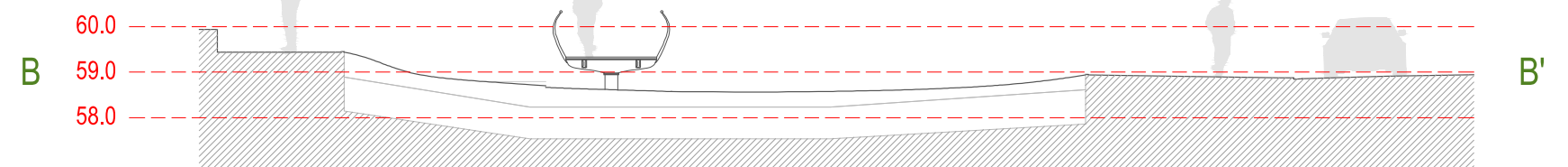
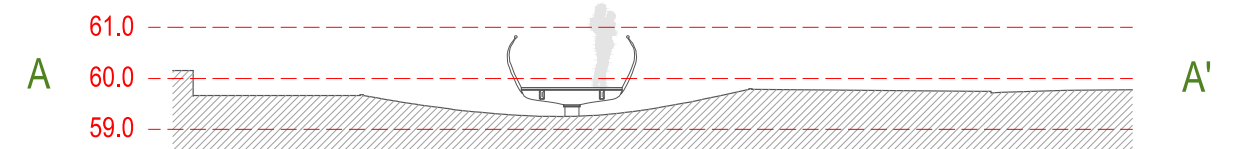
esc 1
1:100
esc 2
1:25



2018



2. PERFIS ALTIMÉTRICOS E LOCALIZAÇÃO DOS PORMENORES DE CONSTRUÇÃO



Anexo 15

DESENHO:

PERFIS ALTIMÉTRICOS

TIPOLOGIA DE JARDIM DE CHUVA

LOCALIZAÇÃO:

CRUZAMENTO ENTRE AV. GAGO COUTINHO E AV. D. RODRIGO DA CUNHA



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

04B

esc 1

1:250

esc 2

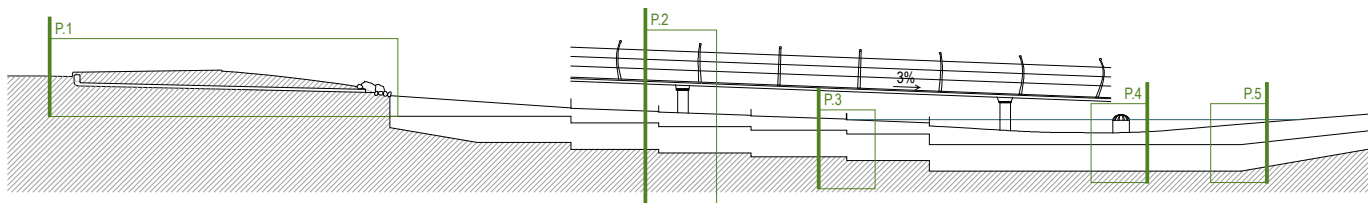
1:150



2018

Anexo 16

1. LOCALIZAÇÃO DOS PORMENORES DE CONSTRUÇÃO

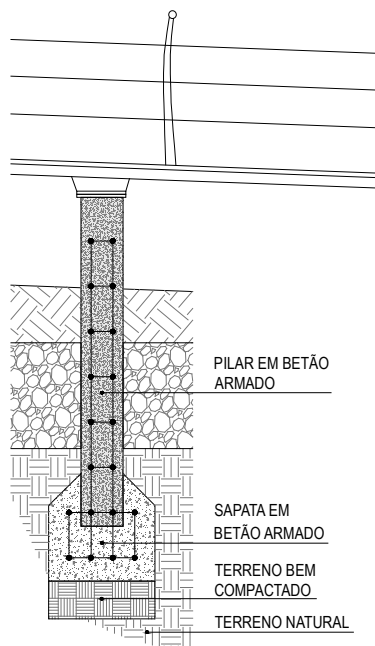


2. PORMENORES DE CONTRUÇÃO

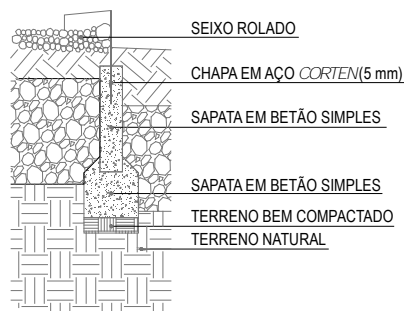
P.1



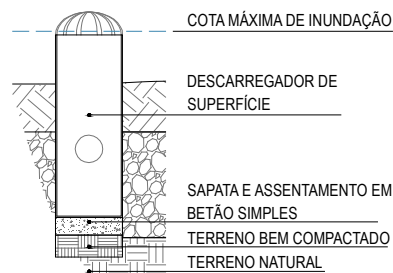
P.2



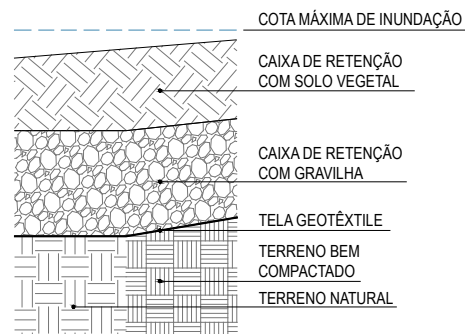
P.3



P.4



P.5



98

DESENHO:

PLANO DE PORMENORES

TIPOLOGIA DE JARDIM DE CHUVA

LOCALIZAÇÃO:

CRUZAMENTO ENTRE AV. GAGO COUTINHO E AV. D. RODRIGO DA CUNHA



INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBER BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

05B

esc

1:200

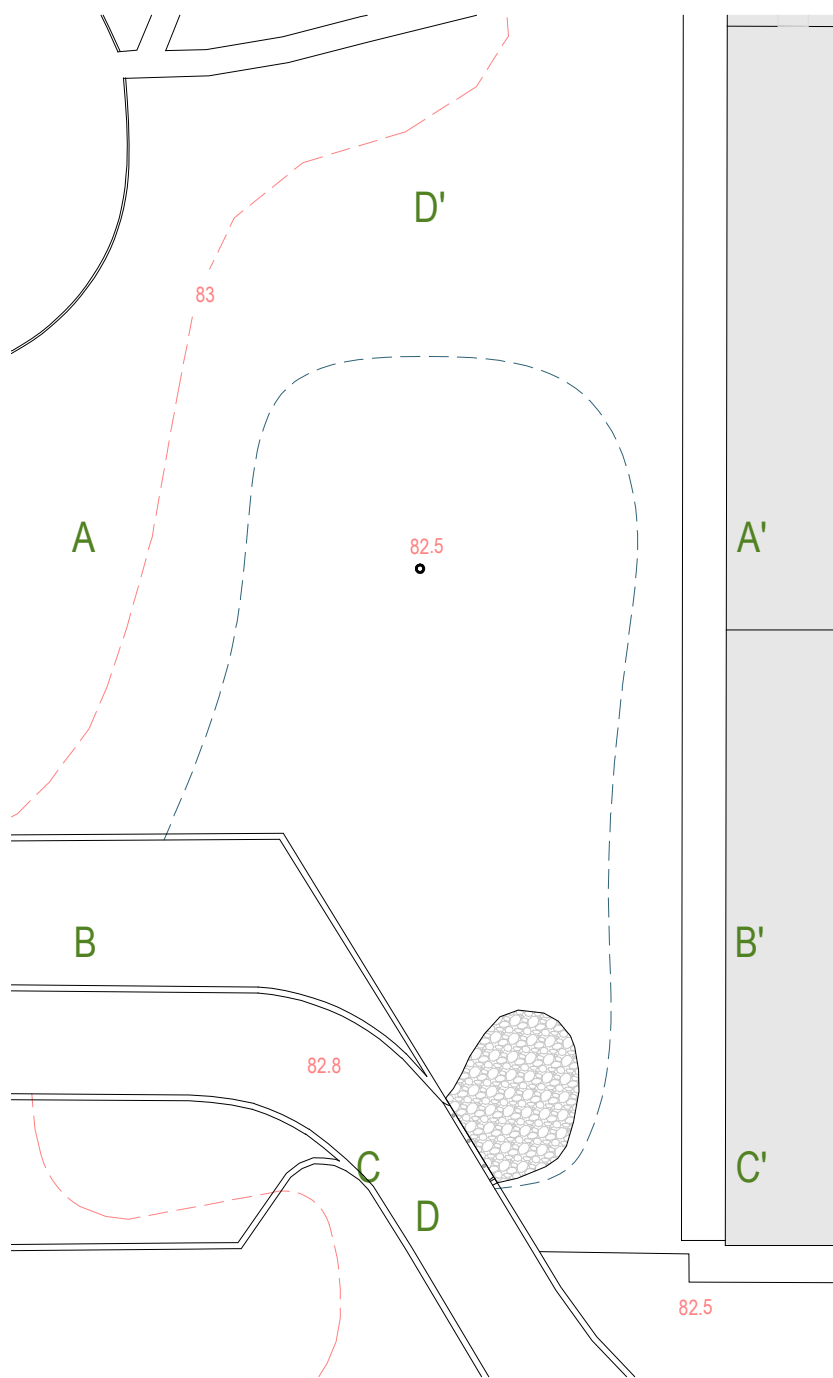
esc

1:50



98

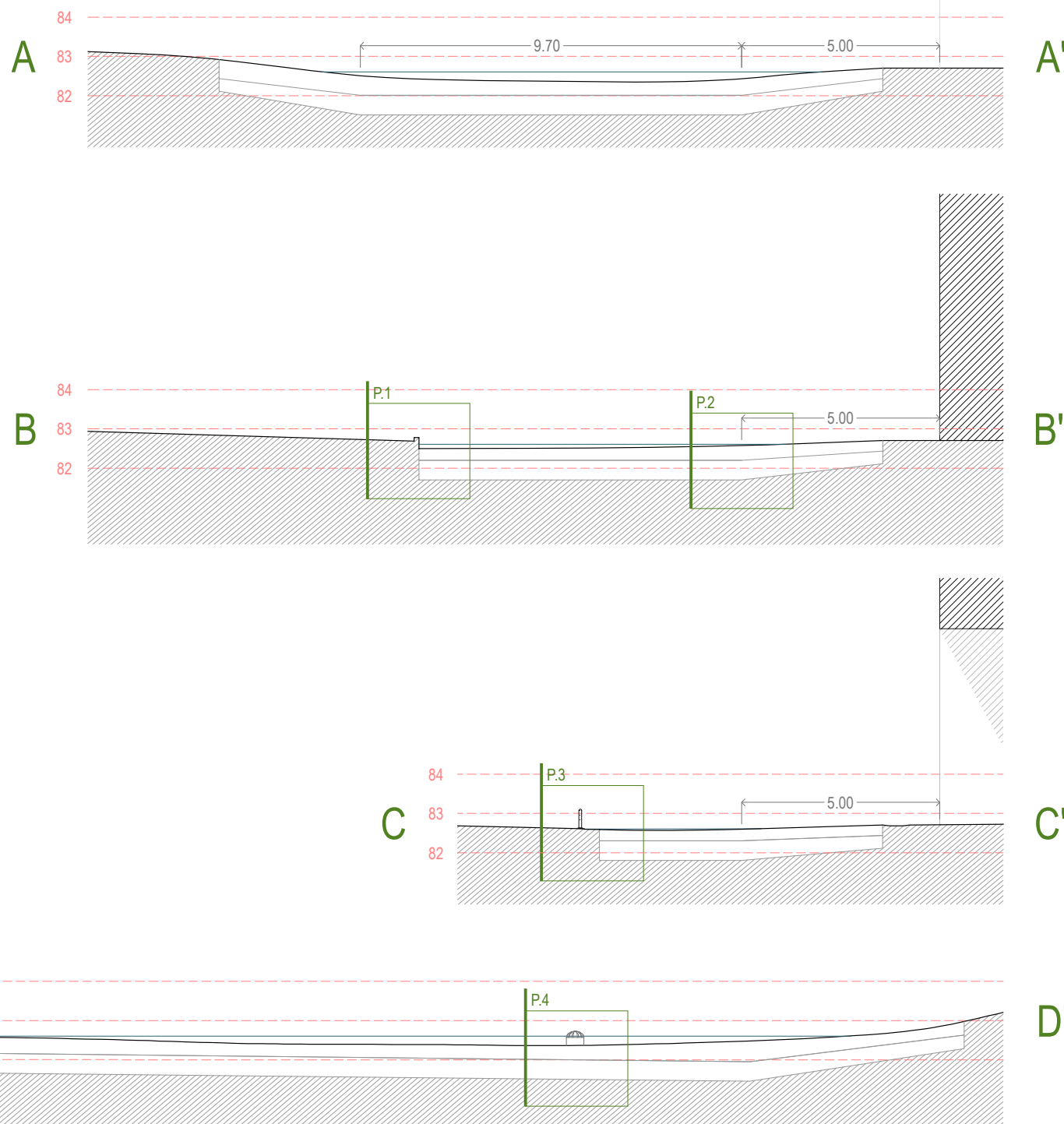
2018



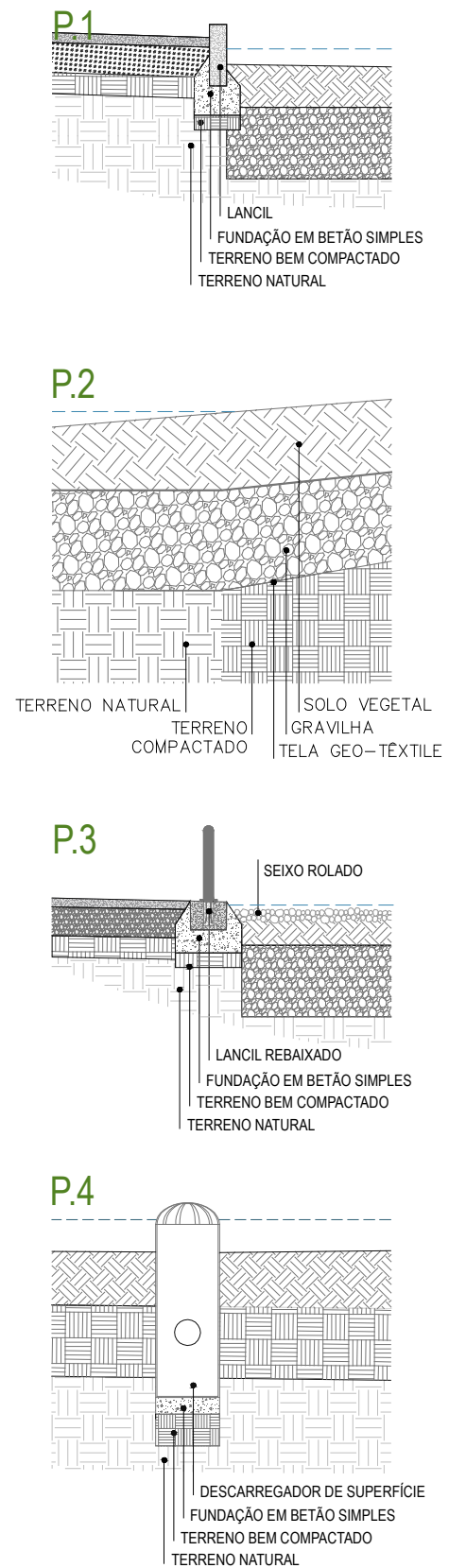
1. PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

- — COTA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO
- - - CURVAS DE NÍVEL (1 m)
- DESCARREGADOR DE SUPERFÍCIE
- SEIXO ROLADO

2. PERFIS ALTIMÉTRICOS



3. PORMENORES DE CONSTRUÇÃO



Anexo 17

DESENHO:

PERFIS ALTIMÉTRICOS E PORMENORES DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DE MICROBACIA DE RETENÇÃO

LOCALIZAÇÃO:

LOGRADOURO NA AV. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GESTÃO SUSTETÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO APLICADAS NO ESPAÇO PÚBLICO URBANO DE LISBOA

TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA PAISAGISTA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
JOSÉ MIGUEL CHAMBEL BARRADAS SOARES LOPES

UNIVERSIDADE DE LISBOA
21657

04c

esc 1

1:250

esc 2

1:150

esc 3

1:50



2018